# Информационная система VEGA-GEOGLAM — инструмент разработки методов и подходов использования данных спутникового дистанционного зондирования в интересах решения задач глобального сельскохозяйственного мониторинга

В. А. Толпин<sup>1</sup>, С. А. Барталев<sup>1</sup>, Е. С. Ёлкина<sup>1</sup>, А. В. Кашницкий<sup>1</sup>, А. М. Константинова<sup>1</sup>, Е. А. Лупян<sup>1</sup>, В. В. Марченков<sup>1</sup>, Д. Е. Плотников<sup>1</sup>, В. К. Патил<sup>2</sup>, Дж. К. Сунил<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия E-mail: tolpin@smis.iki.rssi.ru

<sup>2</sup> Институт прикладных сельскохозяйственных исследований им. К.Дж. Сомайя, Самирвади, Индия Email: patil.vc@somaiya.com

VEGA-GEOGLAM (http://vega.geoglam.ru) была создана Информационная система в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) в рамках проекта SIGMA, ориентированного на разработку технологий для реализации системы глобального мониторинга сельского хозяйства GEOGLAM. Основной задачей системы является создание распределённых инструментов для совместного анализа данных ДЗЗ и контактных измерений. VEGA-GEOGLAM ориентирована на разработку и тестирование методов и подходов мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов в разных регионах мира. Изначально система предоставляла возможность работы с данными дистанционных наблюдений по районам, в которых располагаются тестовые участки сети JECAM (http://jecam.org/). Впоследствии область её интересов постепенно расширялась для обеспечения работы с данными различных международных проектов в области дистанционного мониторинга сельского хозяйства. В основу VEGA-GEOGLAM положены возможности распределённой работы со сверхбольшими, постоянно пополняющимися архивами данных центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (http://ckp.geosmis.ru/). В статье описываются основные возможности и особенности системы, приводятся примеры некоторых реализованных в ней инструментов распределённой обработки и анализа данных.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, мониторинг сельскохозяйственных земель, состояние растительного покрова, спутниковые технологии наблюдения Земли, спутниковые данные, системы дистанционного мониторинга, VEGA-GEOGLAM, ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

Одобрена к печати: 20.06.2019 DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-183-197

#### Введение

Информационная система (ИС) VEGA-GEOGLAM (http://vega.geoglam.ru/) была создана в 2014 г. Институтом космических исследований РАН (ИКИ РАН) в рамках проекта SIGMA (https://twitter.com/SIGMA\_GEOGLAM), выполняемого кооперацией во главе с компанией VITO при поддержке Рамочной программы Европейской комиссии FP7. В рамках проекта SIGMA велась разработка новых методов, подходов и инструментов работы с данными в интересах программы GEOGLAM (http://geoglam.org/index.php/en/) по глобальному спутниковому мониторингу сельского хозяйства. Программа GEOGLAM была одобрена совещанием министров сельского хозяйства стран Большой двадцатки (G20) (Париж, 22–23 июня 2011 г.) и выполняется в рамках межправительственной Группы по наблюдению за Землёй (GEO, http://www.earthobservations.org/index.php).

В 2015—2017 гг. развитие различных инструментов в интересах ИС VEGA-GEOGLAM проводилось также при поддержке проекта Минобрнауки России «Развитие автоматизированных методов и информационных технологий глобального спутникового мониторинга сельского хозяйства в поддержку программы GEOGLAM» (уникальный идентификатор RFMEFI61615X0063). Основной целью этого проекта было развитие автоматизированных методов и информационных технологий дистанционного мониторинга, создаваемых в интересах глобального мониторинга сельского хозяйства для расширения возможностей их использования на территории Северной Евразии.

В настоящее время ИС VEGA-GEOGLAM поддерживается и развивается как одна из специализированных систем, обеспечивающих возможности распределённой работы с данными спутниковых наблюдений в составе центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (http://ckp.geosmis.ru/).

Основной задачей ИС VEGA-GEOGLAM является обеспечение возможности получения доступа к данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), результатам их обработки и инструментам анализа для разработки методов и подходов для решения задач спутникового мониторинга сельского хозяйства в различных регионах мира. Изначально система обеспечивала работу с данными ДЗЗ по районам, в которых располагались тестовые участки сети JECAM (http://jecam.org/). Впоследствии область её интересов постепенно расширялась — в основном для включения данных различных международных проектов в области дистанционного мониторинга сельского хозяйства, выполняемых ИКИ РАН и его партнёрами.

В настоящей работе представлены особенности системы, принципы её построения и основные текущие возможности, которые направлены в первую очередь на обеспечение совместного анализа данных дистанционных и наземных наблюдений, разработку и тестирование новых методов и подходов дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов.

#### Техническая основа системы ИС VEGA-GEOGLAM

Технической основой реализации ИС VEGA-GEOGLAM для работы с данными ДЗЗ является ЦКП «ИКИ-Мониторинг», созданный в 2012 г. Его основная задача состоит в обеспечении возможности работы различных исследовательских и образовательных проектов со сверхбольшими, постоянно обновляющимися архивами данных спутниковых наблюдений и результатами их обработки. В настоящее время (июнь 2019 г.) центр предоставляет возможность работы с данными более чем 20 типов приборов. В архивах центра в непосредственном доступе (онлайн) находится более 2 Пбайт данных. При этом они постоянно (ежедневно) пополняются, что позволяет пользователям центра и работать с историческими данными, и вести научный мониторинг различных территорий, объектов и явлений. Особенностью ЦКП «ИКИ-Мониторинг» является возможность не только поиска и выбора необходимых данных, но и их обработки с использованием предоставляемой центром инфраструктуры, а также на основе входящих в его состав специализированных систем, в том числе VEGA-GEOGLAM, в которой реализованы различные инструменты для проведения распределённого анализа данных. Достаточно подробно возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и входящей в его состав базовой системы Bera-Science (http://sci-vega.ru/), обеспечивающей распределённую работу с данными центра, описаны в работах (Лупян и др., 2015а, 2019).

Система ИС VEGA-GEOGLAM создавалась и функционирует на основе технических и информационных ресурсов, предоставляемых ЦКП «ИКИ-Мониторинг». В ней активно используются различные инструменты обработки и анализа данных, предоставляемые системой Вега-Science. Это позволило разработчикам ИС VEGA-GEOGLAM максимально задействовать уже имеющуюся инфраструктуру работы с данными ДЗЗ и сосредоточиться на реализации специального функционала, необходимого для создания и тестирования методов анализа спутниковых данных для ведения спутникового мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов в различных районах мира.

#### Технологическая основа системы ИС VEGA-GEOGLAM

Для реализации ИС VEGA-GEOGLAM использовались разработанные в ИКИ РАН технологии, которые ориентированы на создание и поддержку информационных систем дистанционного мониторинга. Достаточно подробно данные технологии описаны в работах (Егоров и др., 2004; Кашницкий и др., 2016; Лупян и др., 2004, 2011а, 20156, 2018).

Наиболее важными для реализации ИС VEGA-GEOGLAM стали технологии UNISAT и GEOSMIS.

UNISAT (Прошин и др., 2016) — это технология унифицированного ведения распределённых архивов спутниковых данных и результатов их обработки, которая обеспечивает возможность работы не только с реальными (физически существующими), но и с виртуальными (формируемыми в режиме онлайн) информационными продуктами. Это позволяет достаточно быстро интегрировать в создаваемые на её основе информационные системы новые продукты, ориентированные на решение конкретных задач. При этом не возникает необходимости проводить обработку всех накопленных в архивах данных, не увеличивается объём архивов и в то же время пользователи системы могут получить требуемый продукт по любому набору данных, имеющихся в архивах, на основе которых он строится. В настоящее время технология UNISAT успешно используется в значительном числе специализированных информационных систем, в том числе ориентированных на решение задач дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов.

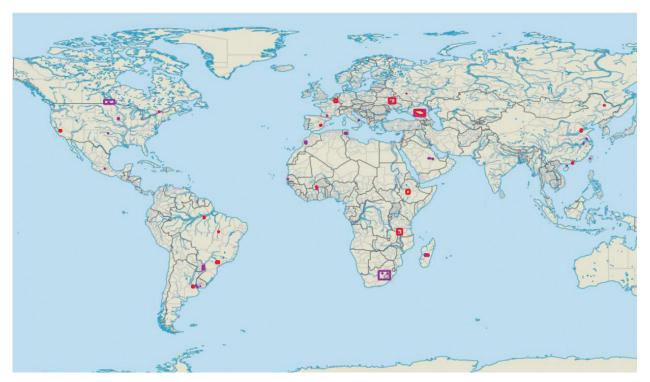
GEOSMIS (Толпин и др., 2011) — технология построения веб-интерфейсов для работы с пространственной информацией в системах дистанционного мониторинга. Данная технология рассчитана на создание интерфейсов работы с большими распределёнными многомерными архивами спутниковых данных и результатов их обработки. Она предназначена не только для разработки интерфейсов, обеспечивающих поиск данных, но также для создания инструментов анализа, обработки и управления данными. Технология позволяет вести разработку и поддержку интерфейсов, обеспечивающих работу с различными типами данных и процедурами их обработки и представления. GEOSMIS обеспечивает возможность построения достаточно сложных специализированных интерфейсов работы с пространственными данными, которые, в частности, позволяют:

- работать с большими объёмами разнородной разновременной информации, покрывающей большие территории;
- взаимодействовать с распределёнными информационными ресурсами, предоставляющими пространственную информацию;
- работать как с оперативно получаемыми спутниковыми данными и результатами их обработки, так и с их долговременными архивами;
- осуществлять не только поиск и визуальный просмотр данных, но также их обработку и анализ.

Опыт использования технологии GEOSMIS при создании интерфейсов работы с данными в различных системах дистанционного мониторинга показал, что она позволяет достаточно быстро создавать и легко поддерживать, масштабировать и развивать системы, обеспечивающие возможность распределённой работы с данными ДЗЗ.

# Данные, доступные в системе ИС VEGA-GEOGLAM

Изначально ИС VEGA-GEOGLAM создавалась для обеспечения работы со спутниковыми данными по участкам сети JECAM, которые использовались в проекте SIGMA (15 участков). Впоследствии в ходе проекта зона охвата была расширена, и система включила все действующие на 2017 г. участки сети JECAM (46 участков). Расположение участков представлено на рис. 1 (см. с. 186). Сбор и формирование архивов спутниковых данных и результатов их обработки проводится системой и в настоящее время. Как уже отмечалось, постепенно в систему добавляются различные участки, в которых заинтересованы проекты, использующие её возможности.



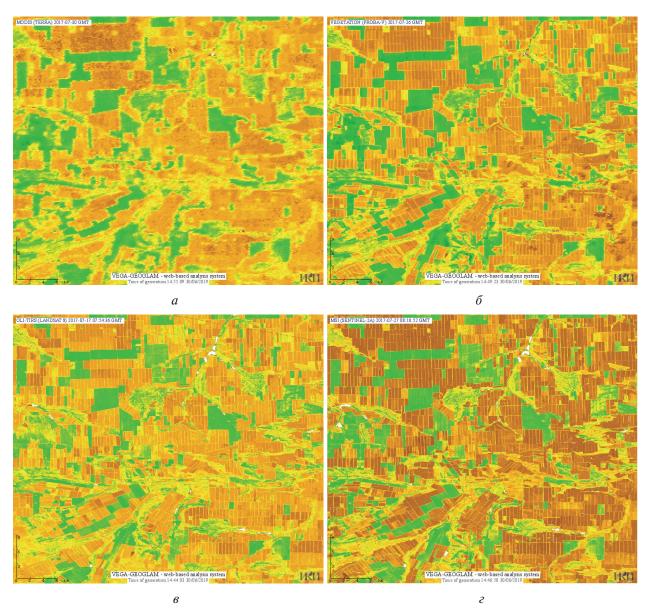
*Рис. 1.* Расположение участков сети JECAM (фиолетовый цвет), по которым осуществляется формирование архивов спутниковых данных в ИС VEGA-GEOGLAM. Красным цветом отмечены участки SIGMA-JECAM

Сбор и ведение архивов данных в интересах ИС VEGA-GEOGLAM осуществляется средствами ЦКП «ИКИ-Мониторинг». На тестовые участки системы, в частности, формируются архивы данных, получаемых со спутников Terra/Aqua (прибор MODIS), Landsat-4...-8, Sentinel-2, «Метеор-М» (прибор КМСС). Для некоторых участков также формируются архивы данных с других спутниковых систем, например Sentinel-1, Proba-V, «Канопус-В», «Ресурс-П» (прибор ГСА) и др. Также пользователи, ведущие работу по отдельным участкам, могут добавлять в систему имеющиеся у них спутниковые данные и результаты их обработки.

В системе имеются различные продукты, полученные на основе спутниковых данных, например композитные безоблачные изображения, очищенные от шумов и влияния облачности. Такие изображения в первую очередь используются для построения вегетационных индексов, необходимых для оценки состояния сельскохозяйственной растительности. На всю зону интересов ИС VEGA-GEOGLAM на основе технологии, разработанной в ИКИ РАН (Плотников и др., 2014), автоматически формируются безоблачные композитные изображения по данным прибора MODIS. В интересах системы создаются семидневные и четырёхдневные безоблачные композиты. На отдельные участки формируются ежедневные композиты. В настоящее время в системе реализованы процедуры, позволяющие строить безоблачные композиты на основе данных не только прибора MODIS, но и приборов КМСС, ОLI и MSI. Таким образом, пользователи системы имеют возможность работать с данными различного временного и пространственного разрешения. Примеры карт вегетационного индекса NDVI, полученные на основе данных разного пространственного разрешения, приведены на рис. 2 (см. с. 187).

Отметим также, что в интересах конкретных проектов в ИС VEGA-GEOGLAM могут создаваться специальные информационные продукты и наборы данных. Например, в 2018 г. в интересах проекта РФФИ и ДНТ №18-51-45001 ИНД\_а, направленного на разработку дистанционных методов картографирования и мониторинга состояния посевов сахарного тростника для контроля их обеспеченности водой и азотным питанием, в систему был введён дополнительный тестовый участок на территории административных округов Багалкот и Белгаум в Южной Индии. Для этого участка был сформирован стандартный набор спут-

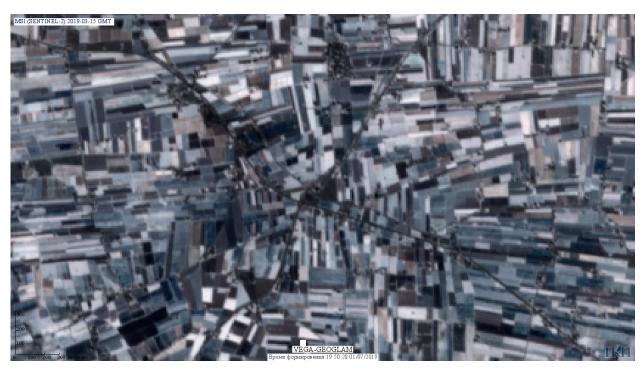
никовых данных, использующихся практически для всех тестовых участков в ИС VEGA-GEOGLAM. Также были разработаны новые методы и получены результаты восстановления безоблачных изображений NDVI с шагом один день на основе информации, получаемой со спутников Sentinel-2A/B. Необходимость формирования композитов была вызвана тем, что размеры полей, используемых для выращивания сахарного тростника, достаточно небольшие, а скорость его роста в отдельные моменты времени может быть высокой. Пример такого разновременного синтеза ежедневных значений NDVI приведён на рис. 3 (см. с. 188).



*Рис. 2.* Примеры карт NDVI на территорию Ставропольского полигона сети JECAM, полученные в июле 2017 г. по данным: a — MODIS (спутник Terra) (250 м);  $\delta$  — Vegetation (спутник Proba-V) (100 м);  $\delta$  — OLI-TIIRS (спутник Landsat-8) (30 м);  $\epsilon$  — MSI (спутник Sentinel-2A) (10 м)

Особое внимание в ИС VEGA-GEOGLAM уделено вопросу работы с информацией об отдельных объектах (полях). В системе создана специализированная база данных (БД), позволяющая хранить информацию о таких объектах, в том числе и спутниковую. Поле может быть заведено в БД системы пользователем через картографический интерфейс (очерчено и сохранено в БД) или путём передачи в систему векторного файла с границами объектов, которые должны быть заведены в системе. Для каждого объекта кроме его границ могут быть введены

дополнительные данные, например: информация о выращиваемых культурах в конкретном году; данные об их урожайности; биофизические характеристики (LAI, FCover, биомасса и др.) и т.д.



*Рис. 3.* Синтез разновременных ежедневных композитов NDVI, полученных на основе данных прибора MSI. Видны изменения индекса в течение 5 дней в середине марта 2018 г. (участки в синих тонах соответствуют падению NDVI, в бурых — росту)

После занесения нового объекта в БД для него осуществляется расчёт различных характеристик на основе доступной в системе информации, таких, например, как вегетационные индексы и статистические характеристики. Вычисление может осуществляться на основе данных разных спутниковых систем. При этом характеристики для объекта могут рассчитываться как по уже имеющейся исторической информации, так и по новым данным, постоянно поступающим в систему. Таким образом, пользователи могут анализировать и изучать временную динамику исследуемых ими объектов и производить их постоянный мониторинг. Накопленная в системе информация об объектах в настоящее время используется для решения различных задач, таких как разработка методов оценки состояния полей, оценка их используемости, создание методов картографирования сельскохозяйственных земель и т.д. Для анализа и обработки такой информации в системе реализованы специализированные интерфейсы.

Кроме спутниковых данных и результатов их обработки в ИС VEGA-GEOGLAM доступна метеоинформация и инструменты работы с ней. Архивы метеоинформации системы формируются на основе данных, которые автоматически поступают из Национального центра атмосферных исследований США (NCAR, https://ncar.ucar.edu/). В системе доступны архивы метеоинформации с 2000 г., сформированные на основе следующих типовых наборов данных:

- ds093.0/ds094.0 данные реанализа на регулярной сетке с шагом  $0.5^{\circ}$ ,
- ds335.0 данные прогноза на регулярной сетке с шагом 1°.

В системе доступна информация по всему земному шару, которая обновляется каждые 6 ч. Достаточно подробно схема работы с метеоинформацией, использующейся в ИС VEGA-GEOGLAM, описана в работе (Уваров и др., 2013).

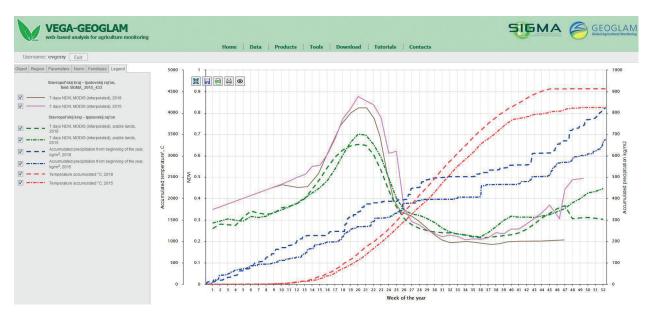
#### Базовые возможности анализа данных

Как уже отмечалось, ИС VEGA-GEOGLAM создавалась с использованием возможностей обработки и анализа данных, реализованных в системе Bera-Science. Достаточно подробно система Bera-Science описана в целом ряде публикаций, в частности (Лупян и др., 2011б, 2014, 2019; Толпин и др., 2014). Поэтому в настоящей работе мы кратко остановимся только на некоторых её инструментах. Безусловно, для системы важны различные инструменты анализа и обработки изображений, имеющиеся в Bera-Science, о них подробно говорится в работах (Кашницкий и др., 2015, 2016). В то же время одной из важных особенностей ИС VEGA-GEOGLAM является возможность получать и анализировать пространственные и временные ряды характеристик различных объектов (полей). Мы остановимся на инструментах Вега-Science, позволяющих анализировать именно эту информацию.

В системе Bera-Science реализованы специальные инструменты анализа временных рядов, позволяющие визуализировать и проводить анализ динамики различных характеристик исследуемых объектов. Такие инструменты, в частности, позволяют:

- визуализировать временной ход вегетационных индексов, полученных для объекта в различные годы, проводить их выравнивание с учётом особенностей конкретных сезонов;
- проводить сравнение динамики развития одинаковых культур на выбранном поле в различные годы;
- проводить расчёт среднемноголетних «норм» развития конкретной культуры на конкретном поле;
- проводить сравнение динамики развития культур на различных полях;
- проводить анализ динамики различных индексов NDVI и метеопараметров в районе, где расположен объект и т.д.

Пример одного из интерфейсов, обеспечивающих работу обсуждаемого инструмента, представлен на *puc. 4*.

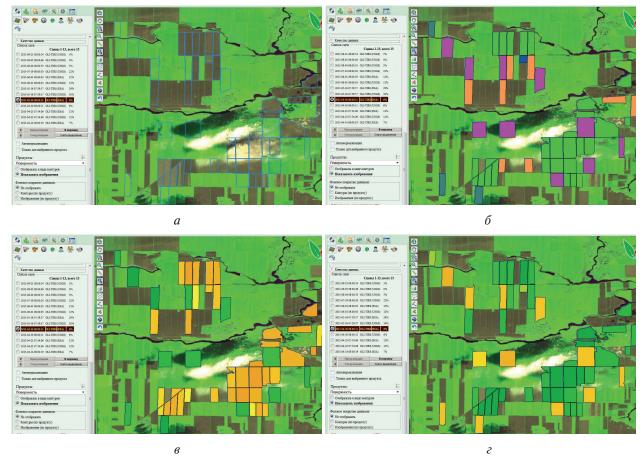


*Рис. 4.* Пример интерфейса анализа динамики развития посевов на отдельных полях. Сравнение развития озимой пшеницы на одном из полей Ставропольского полигона JECAM в 2015 и 2018 гг.

В ИС VEGA-GEOGLAM также доступны инструменты, применяемые для пространственного анализа состояния и используемости полей. Эти инструменты, в частности, позволяют визуализировать в картографическом веб-интерфейсе:

- границы полей;
- информацию о том, какие культуры возделывались на полях в конкретном году;
- значения различных вегетационных индексов в выбранный момент времени;
- характеристики неоднородности полей в выбранный момент времени;
- характеристики динамики развития растительности;
- отклонения значений NDVI в выбранный момент времени от «нормального» (среднемноголетнего) значения развития возделываемой культуры и т.д.

Примеры отображения различных параметров полей приведены на *puc. 5.* На *puc. 5а* по-казаны границы выбранных полей на полигоне JECAM в Ставропольском крае. На *puc. 56* представлена информация о культурах, которые возделывались на этих полях в 2017 г. (фиолетовый цвет — озимая пшеница, серый — озимый рапс, зелёный — яровой ячмень, оранжевый — подсолнечник). На *puc. 5в* приведена картограмма полей, отражающая средние значения NDVI, зафиксированные на них 19.05.2015 (дата максимума NDVI для озимых в наблюдаемом регионе в 2015 г.). На *puc. 5е* приведена картограмма полей, отражающая средние значения NDVI, зафиксированные на них 12.07.2015 (дата максимума NDVI для яровых в наблюдаемом регионе в 2015 г.). Анализ приведённой информации, в частности, показывает, что полученные данные наземных наблюдений о возделываемых культурах в целом согласуются со спутниковыми наблюдениями.

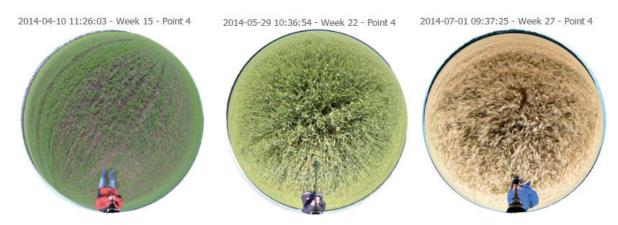


*Puc. 5.* Пример отображения различной информации о полях в картографическом интерфейсе ИС VEGA-GEOGLAM

#### Специальные инструменты

В ИС VEGA-GEOGLAM создан ряд специальных инструментов, в том числе ориентированных на проведение совместного анализа спутниковой и наземной информации, а также спутниковых данных в различных регионах мира с учётом региональных особенностей ведения сельского хозяйства. В настоящем разделе мы приведём несколько примеров таких инструментов.

Так, в системе разработан инструментарий, предоставляющий возможность вводить и хранить данные, получаемые при проведении работ по наземному обследованию полей. Он позволяет интегрировать в систему данные фотосъёмки, выполняемой при обследовании полей (примеры снимков, сделанных с использованием объектива fisheye, приведены на *рис.* 6), и информацию о развитии возделываемых культур, в частности даты наступления различных фенофаз.



Puc. 6. Примеры снимков, сделанных фотокамерой с объективом fisheye, использующихся при наземных обследованиях полей

Данные съёмки посевов могут использоваться не только для качественной оценки их состояния, но и для расчёта различных количественных характеристик, например листового индекса LAI. В ИС VEGA-GEOGLAM реализована возможность усвоения подобной информации.

Для комплексного анализа дистанционной, наземной и метеоинформации в системе создан интерфейс, позволяющий визуализировать и анализировать различные данные, полученные по исследуемому полю. В нём доступна информация о возделываемых культурах на выбранном поле, фотографии посевов, спутниковые изображения с отображением мест сбора наземных данных, а также данные совместного анализа дистанционной, наземной и метеоинформации. Пример интерфейса комплексного анализа представлен на рис. 7 (см. с. 192).

В ИС VEGA-GEOGLAM также создаётся различный специализированный инструментарий, ориентированный на выполнение конкретных экспериментов и проектов. Например, такой инструментарий был разработан для реализации на основе сети SIGMA-JECAM эксперимента по оценке точности карт используемой пашни, создаваемых на основе подхода crowd-source (сбор и анализ информации, предоставляемой волонтёрами) (Плотников и др., 2016). Внешний вид созданного интерфейса и иллюстрация порядка его работы приведены на рис. 8 (см. с. 192).

Следует отметить, что при сравнении опорных данных, полученных разными способами, необходимым условием является однозначное соответствие пространственного расположения объектов для всех источников обучающей выборки (наземной информации, выборки по данным карт, интерпретации волонтёров), т.е. требуется, чтобы различные методы анализировали один и тот же пространственный объект. В инструменте crowd-source ИС VEGA-GEOGLAM это обеспечивается использованием на первом этапе работы волонтёра

специальной зоны валидации (показана красным прямоугольником на *puc. 8*), взаимно-однозначно привязанной к соответствующему образцу полученной по наземным данным обучающей выборки. В частности, волонтёру предлагается оконтурить однородный объект, целиком входящий в зону валидации и имеющий схожие с ним линейные размеры. После замыкания полигона он должен указать класс объекта (используемая пашня или другой класс), действуя в рамках установленного в сети JECAM определения используемой пашни.



*Рис.* 7. Пример интерфейса комплексного анализа информации по конкретному полю, полученной на основе наземных и дистанционных наблюдений

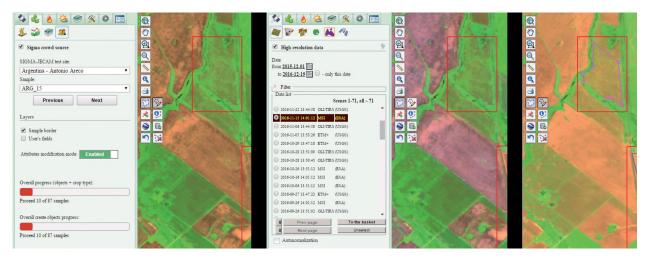


Рис. 8. Общий вид раздела картографического веб-интерфейса с инструментами для навигации и оконтуривания объектов (слева); процесс поиска оптимальной даты снимка для установления точных границ объектов внутри зоны валидации (в центре); процесс оконтуривания границ однородного участка внутри зоны валидации (справа)

Инструмент был задействован в научном эксперименте, охватывающем ЈЕСАМ-участки по всему миру. При этом валидируемые образцы распределяются между экспертами пропорционально-случайным образом внутри каждого участка, чтобы гарантировать соразмерное участие волонтёра в создании выборки не только в известном ему регионе, но и в незнакомых условиях. Такой подход позволяет минимизировать возможную предвзятость волонтёра, связанную с его осведомлённостью о расположении и типе образцов выборки на его ЈЕСАМучастке, одновременно обеспечивая сравнимые значения общей ошибки экспертной интерпретации для всех вовлечённых регионов. После завершения первого этапа интерпретации волонтёрами образцов с помощью зоны валидации становится возможным численно оценить точность эксперта или всей группы экспертов по выявлению однородных объектов и определению их класса. В случае достижения приемлемой точности волонтёры считаются способными к надёжной идентификации объектов на территории размером от 300 до 500 км вокруг участка ЈЕСАМ, где отсутствует наземная опорная информация в виде зон валидации, а расположение образцов для оконтуривания обозначено опорными точками. Этот второй этап интерпретации даёт возможность получения достаточно точной обучающей выборки, позволяющей использовать эффективные методы распознавания пахотных земель на больших неоднородных территориях, сравнимых с размерами стран.

На основе результатов интерпретации спутниковых снимков на первом и втором этапе crowd-source эксперимента создаётся достаточно плотная и репрезентативная сеть опорных полигонов, половина которых используется для классификации, а остальная часть — для валидации.

Разработанный инструмент crowd-source позволил провести эксперимент по сбору опорной информации путём совместной интерпретации спутниковых данных множеством пользователей из нескольких стран, а именно Аргентины, Бразилии, Украины, Китая, Канады и России. Результаты эксперимента имеют значение не только для участвующих стран, но и для других регионов планеты.

На основе разработанного инструмента crowd-source была создана его специальная «обучающая» версия, ориентированная на организацию и проведение лабораторных работ. Этот инструмент позволяет выдать каждому студенту персональное задание и проводить учёт количества и качества проделанной работы. С одной стороны, студенты учатся выделять однородные участки растительности и, используя возможности системы, заводить объекты и проводить их анализ для определения используемости земель. С другой стороны, они создают новые обучающие выборки контролируемой точности. Использование принципов распределения и работы с данными, аналогичных эксперименту в сети JECAM, позволяет получать в результате качественные новые выборки данных, которые могут становиться эталонными для других экспериментов, а также расширять географию работ, направленных на создание новых подходов и методов мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов.

## Заключение

Опыт создания и использования VEGA-GEOGLAM показал, что данная система является хорошей основой для реализации проектов, связанных с развитием методов и подходов дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель и возделываемых на них культур в разных регионах мира. Механизмы, реализованные в системе, позволяют достаточно просто создавать архивы данных по различным районам исследований, реализовывать их постоянное пополнение для ведения научного мониторинга, а также создавать специализированные инструменты распределённого анализа данных для выполнения конкретных научных проектов.

Следует отметить, что ИС VEGA-GEOGLAM сегодня является и в дальнейшем может развиваться как один из специализированных инструментов работы с данными ДЗЗ, входящих в состав ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

В настоящее время ИС VEGA-GEOGLAM функционирует и развивается при поддержке Минобрнауки (тема «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164). Формирование

наборов данных тестового участка на территории административных округов Багалкот и Белгаум в Южной Индии осуществлялось при поддержке РФФИ и ДНТ (проект N 18-55-45023 ИНД а).

## Литература

- 1. *Егоров В.А.*, *Ильин В.О.*, *Лупян Е.А.*, *Мазуров А.А.*, *Прошин А.А.*, *Флитман Е.В.* Возможности построения автоматизированных систем обработки спутниковых данных на основе программного комплекса XV\_SAT // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Вып. 1. С. 431–436.
- 2. *Кашницкий А. В.*, *Балашов И. В.*, *Лупян Е. А.*, *Толпин В. А.*, *Уваров И. А.* Создание инструментов для удаленной обработки спутниковых данных в современных информационных системах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 156—170.
- 3. *Кашницкий А. В.*, *Лупян Е. А.*, *Балашов И. В.*, *Константинова А. М.* Технология создания инструментов обработки и анализа данных сверхбольших распределенных спутниковых архивов // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 9. С. 772—777. DOI: 10.15372/AOO20160908.
- 4. *Лупян Е.А.*, *Мазуров А.А.*, *Назиров Р.Р.*, *Прошин А.А.*, *Флитман Е.В.* Технология построения автоматизированных информационных систем сбора, обработки, хранения и распространения спутниковых данных для решения научных и прикладных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Вып. 1. С. 81–89.
- 5. *Лупян Е.А.*, *Мазуров А.А.*, *Назиров Р. Р.*, *Прошин А.А.*, *Флитман Е. В.*, *Крашениникова Ю. С.* (2011а) Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 26–43.
- 6. *Лупян Е.А.*, *Савин И.Ю.*, *Барталев С.А.*, *Толпин В.А.*, *Балашов И.В.*, *Плотников Д.Е.* (2011б) Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190—198.
- 7. *Лупян Е.А.*, *Барталев С.А.*, *Толпин В.А.*, *Жарко В.О.*, *Крашениникова Ю.С.*, *Оксюкевич А.Ю.* Использование спутникового сервиса ВЕГА в региональных системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 215—232.
- 8. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашниц-кий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. (2015а) Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263—284.
- 9. Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Кобец Д.А., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. (20156) Создание технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 53—75.
- 10. *Лупян Е.А.*, *Бурцев М.А.*, *Прошин А.А.*, *Кобец Д.А.* Развитие подходов к построению информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 53–66. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-53-66.
- 11. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151—170.
- 12. *Плотников Д. Е.*, *Миклашевич Т. С.*, *Барталев С. А.* Восстановление временных рядов данных дистанционных измерений методом полиномиальной аппроксимации в скользящем окне переменного размера // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 2. С. 103–110.
- 13. Плотников Д. Е., De Abelleyra D., Veron S. R., Zhang M., Толпин В.А., Барталев С.А., Lavreniuk M., Waldner F., Ziad A. Картографирование пахотных земель в различных регионах глобальной сети JECAM на основе спутниковых данных Landsat и полученной методом краудсорсинга опорной

- информации // Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли RORSE 2018. ИКИ РАН, 2019. С. 177–184. DOI: 10.21046/rorse2018.177.
- 14. *Прошин А.А.*, *Лупян Е.А.*, *Балашов И.В.*, *Кашницкий А.В.*, *Бурцев М.А.* Создание унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных, предназначенной для построения современных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 9—27. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-9-27.
- 15. *Толпин В.А.*, *Балашов И.В.*, *Ефремов В.Ю.*, *Лупян Е.А.*, *Прошин А.А.*, *Уваров И.А.*, *Флитман Е.В.* Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 93–108.
- 16. *Толпин В.А.*, *Лупян Е.А.*, *Барталев С.А.*, *Плотников Д.Е.*, *Матвеев А.М.* Возможности анализа состояния сельскохозяйственной растительности с использованием спутникового сервиса «ВЕГА» // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 7(306). С. 581–586.
- 17. Уваров И.А., Халикова О.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Лупян Е.А., Матвеев А.М., Платонов А.Е., Прошин А.А., Толпин В.А., Крашениникова Ю.С. Организация работы с метеорологической информацией в информационных системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 2. С. 30—45.

# The VEGA-GEOGLAM information system: a tool for the development of methods and approaches to using satellite remote sensing data in problem-solving tasks of global agricultural monitoring

V.A. Tolpin<sup>1</sup>, S.A. Bartalev<sup>1</sup>, E.S. Elkina<sup>1</sup>, A.V. Kashnitskii<sup>1</sup>, A.M. Konstantinova<sup>1</sup>, E.A. Loupian<sup>1</sup>, V.V. Marchenkov<sup>1</sup>, D. E. Plotnikov<sup>1</sup>, V. C. Patil<sup>2</sup>, J. K. Sunil<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia E-mail: tolpin@smis.iki.rssi.ru <sup>2</sup> K.J. Somaiya Institute of Applied Agricultural Research, Sameerwadi, India Email: patil.vc@somaiya.com

The VEGA-GEOGLAM information system (http://vega.geoglam.ru) was developed in Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences (IKI RAS) in the framework of the SIGMA project focused on the development of technologies for the implementation of the GEOGLAM global agriculture monitoring system. The main purpose of the system is to create distributed tools for joint analysis of remote sensing data and in situ measurements. The system is aimed at the development and testing of methods and approaches to monitoring agricultural lands and crops in a number of regions of the world. Initially, the system provided the capability to work with remote observation data on the areas where the test sites of the JECAM network are located (http://jecam.org/). Later the system's area of interest was gradually expanded to work with the data of different international projects in the field of agricultural remote monitoring. The system is based on distributed capabilities for processing extra large, constantly growing data archives of the IKI-Monitoring center for collective use (http://ckp.geosmis.ru/). The paper describes the main principal capabilities and features of the VEGA-GEOGLAM, providing examples of some of implemented tools for distributed data processing and analysis.

**Keywords:** remote sensing, agricultural land monitoring, vegetation cover state, satellite earth observation technologies, satellite data, remote monitoring systems, VEGA-GEOGLAM, IKI-Monitoring CCU

Accepted: 20.06.2019 DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-183-197

#### References

- Egorov V.A., Il'in V.O., Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Vozmozhnosti postroeniya avtomatizirovannykh sistem obrabotki sputnikovykh dannykh na osnove programmnogo kompleksa XV\_SAT (Possibilities of Developing Automated Satellite Data Processing Systems on the Basis of XV\_SAT Software Package), Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2004, No. 1, pp. 431–436.
- 2. Kashnitskiy A. V., Balashov I. V., Loupian E. A., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Sozdanie instrumentov dlya udalennoi obrabotki sputnikovykh dannykh v sovremennykh informatsionnykh sistemakh (Development of software tools for satellite data remote processing in contemporary information systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 156–170.
- 3. Kashnitskii A. V., Lupyan E. A., Balashov I. V., Konstantinova A. M., Tekhnologiya sozdaniya instrumentov obrabotki i analiza dannykh sverkhbol'shikh raspredelennykh sputnikovykh arkhivov (Technology for Designing Tools for the Process and Analysis of Data from Very Large Scale Distributed Satellite Archives), *Optika atmosfery i okeana*, 2016, Vol. 29, No. 9, pp. 772–777, DOI: 10.15372/AOO20160908.
- 4. Loupian E.A., Mazurov A.A., Nazirov R.R., Proshin A.A., Flitman E.V., Tekhnologiya postroeniya avtomatizirovannykh informatsionnykh sistem sbora, obrabotki, khraneniya i rasprostraneniya sputnikovykh dannykh dlya resheniya nauchnykh i prikladnykh zadach (Development of Automated Information Systems for Scientific and Application Tasks), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2004, Issue 1, pp. 81–89.
- 5. Loupian E. A., Mazurov A. A., Nazirov R. R., Proshin A. A., Flitman E. V., Krasheninnikova Yu. S. (2011a), Tekhnologii postroeniya informatsionnykh sistem distantsionnogo monitoringa (Technologies for Building Remote Monitoring Information Systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 26–43.
- 6. Loupian E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E. (2011b), Sputnikovyi servis monitoringa sostoyaniya rastitel'nosti ("VEGA") (Satellite Service for Vegetation Monitoring VEGA), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 190–198.
- 7. Loupian E.A., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Zharko V.O., Krasheninnikova Yu.S., Oksyukevich A.Yu., Ispol'zovanie sputnikovogo servisa VEGA v regional'nykh sistemakh distantsionnogo monitoringa (VEGA satellite service applications in regional remote monitoring systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 3, pp. 215–232.
- 8. Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitskiy A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A. (2015a), Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushhei sredy (IKI center for collective use of satellite data archiving,processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 263–284.
- 9. Loupian E.A., Balashov I.V., Burtsev M.A., Efremov V.Yu., Kashnitsky A.V., Kobets D.A., Krasheninnikova Yu.S., Mazurov A.A., Nazirov R.R., Proshin A.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Flitman E.V. (2015b), Sozdanie tekhnologii postroeniya informatsionnykh sistem distantsionnogo monitoringa (Development of information systems design technologies), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 53–75.
- 10. Loupian E. A., Burtsev M. A., Proshin A. A., Kobets D. A., Razvitie podkhodov k postroeniyu informatsionnykh sistem distantsionnogo monitoringa (Evolution of remote monitoring information systems development concepts), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 3, pp. 53–66, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-53-66.
- 11. Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A. M., Kobets D.A., Mazurov A.A., Marchenkov V.V., Matveev A.M., Radchenko M.V., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Opyt ekspluatatsii i razvitiya tsentra kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh (TsKP "IKI-Monitoring") (Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 151–170.
- 12. Plotnikov D. E., Miklashevich T. S., Bartalev S. A., Vosstanovlenie vremennykh ryadov dannykh distantsionnykh izmerenii metodom polinomial'noi approksimatsii v skol'zyashchem okne peremennogo razmera (Using local polynomial approximation within moving window for remote sensing data time-series smoo-

- thing and data gaps recovery), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 2, pp. 103–110.
- 13. Plotnikov D. E., De Abelleyra D., Veron S. R., Zhang M., Tolpin V.A., Bartalev S. A., Lavreniuk M., Waldner F., Ziad A., Kartografirovanie pahotnyh zemel' v razlichnyh regionah global'noj seti JECAM na osnove sputnikovyh dannyh Landsat i poluchennoj metodom kraudsorsinga opornoj informacii (Using Crowdsourcing Datasets and Landsat Satellite Data for Cropland Mapping in Different Agrosystems of Global JECAM Network), *Information Technologies in Remote Sensing of the Earth RORSE 2018*, IKI RAN, 2019, pp. 177–184, DOI: 10.21046/rorse2018.177
- 14. Proshin A.A., Loupian E.A., Balashov I.V., Kashnitskiy A.V., Burtsev M.A., Sozdanie unifitsirovannoi sistemy vedeniya arkhivov sputnikovykh dannykh, prednaznachennoi dlya postroeniya sovremennykh sistem distantsionnogo monitoringa (Unified satellite data archive management platform for remote monitoring systems development), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 3, pp. 9–27, DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-9-27.
- 15. Tolpin V.A., Balashov I.V., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Proshin A.A., Uvarov I.A., Flitman E.V., Sozdanie interfeisov dlya raboty s dannymi sovremennykh sistem distantsionnogo monitoringa (sistema GEOSMIS) (The GEOSMIS System: Developing Interfaces to Operate Data in Modern Remote Monitoring Systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 3, pp. 93–108.
- 16. Tolpin V.A., Loupian E.A., Bartalev S.A., Plotnikov D. E., Matveev A. M., Vozmozhnosti analiza sostoyaniya sel'skokhozyaistvennoi rastitel'nosti s ispol'zovaniem sputnikovogo servisa "VEGA" (Possibilities of agricultural vegetation condition analysis with the "VEGA" satellite service), *Optika atmosfery i okeana*, 2014, Vol. 27, No. 7(306), pp. 581–586.
- 17. Uvarov I.A., Khalikova O.A., Balashov I.V., Burtsev M.A., Loupian E.A., Matveev A.M., Platonov A.E., Proshin A.A., Tolpin V.A., Krasheninnikova Yu.S., Organizatsiya raboty s meteorologicheskoi informatsiei v informatsionnykh sistemakh distantsionnogo monitoringa (Meteorological data management in framework of the satellite monitoring information systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 2, pp. 30–45.