

Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг»)

Е. А. Лупян, А. А. Прошин, М. А. Бурцев, А. В. Кашницкий,
И. В. Балашов, С. А. Барталев, А. М. Константинова, Д. А. Кобец,
А. А. Мазуров, В. В. Марченков, А. М. Матвеев, М. В. Радченко,
И. Г. Сычугов, В. А. Толпин, И. А. Уваров

*Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия
E-mail: evgeny@smis.iki.rssi.ru*

Предлагаемая статья посвящена описанию опыта эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН (ЦКП «ИКИ-Мониторинг», <http://ckp.geosmis.ru/>). Рассматривается актуальность задачи обеспечения доступа к сверхбольшим распределённым архивам спутниковых данных на основе принципиально нового подхода, предоставляющего пользователям возможности для интерактивного анализа и обработки данных на базе использования высокопроизводительных вычислительных ресурсов центров предоставления спутниковой информации. Именно на базе этого подхода в 2012 г. был создан центр коллективного пользования ЦКП «ИКИ-Мониторинг». К настоящему моменту предоставляемыми центром ресурсами воспользовалось более 70 различных организаций. Возможности центра использовались при выполнении нескольких десятков научных проектов, поддерживаемых, в частности, РНФ, РФФИ и Министерством науки и образования Российской Федерации. Настоящая статья посвящена рассмотрению текущих возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и накопленного опыта по его развитию и использованию. Особое внимание уделяется описанию новых технологий работы со спутниковыми данными, развитие которых во многом стимулировалось научными и прикладными проектами, выполняющимися с использованием возможностей центра. В заключение кратко представлены перспективные направления развития центра.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, спутниковые данные, информационная система, система коллективного пользования, сверхбольшие массивы данных, архивы спутниковых данных, обработка спутниковых данных

Одобрена к печати: 29.06.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170

Введение

В последние десятилетия происходит стремительное развитие спутниковых систем дистанционного зондирования Земли. При этом наблюдается взрывной рост объёмов спутниковой информации, появляются новые, более совершенные приборы наблюдения Земли (Лупян и др., 2018; Satellites..., 2017; Zhu et al., 2018). Расширяется область применения данных дистанционного зондирования (ДЗЗ), которые в настоящее время широко используются для решения самых разных исследовательских и прикладных задач, связанных с мониторингом природной среды и антропогенных объектов. Всё это, в свою очередь, приводит к существенному возрастанию требований, предъявляемых к системам, обеспечивающим работу со спутниковой информацией.

Сложившаяся ситуация потребовала разработки принципиально новых подходов и методов организации работы с большими объёмами постоянно обновляющейся информации. Создание таких подходов и методов привело к разработке новых технологий построения информационных систем, ориентированных на организацию эффективной работы со спутниковыми данными для решения различных научных и прикладных задач (Лупян и др., 2004, 2011, 2012, 2015а; Прошин др., 2016). Такие технологии сегодня не только обеспечивают пользователям доступ к интересующим их спутниковым данным, но и предоставляют разнообразные

инструменты и сервисы для их обработки и анализа на базе высокопроизводительных вычислительных ресурсов коллективного пользования. Это позволяет при реализации различных научных и прикладных проектов во многих случаях избежать необходимости создания дорогостоящих программно-аппаратных комплексов для хранения, обработки и анализа информации и существенно понижает расходы как на разработку, так и на эксплуатацию специализированных информационных систем дистанционного мониторинга (Лупян и др., 2018).

Именно на базе таких подходов и технологий в 2012 г. был создан центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды «ЦКП ИКИ-Мониторинг» (<http://ckp.geosmis.ru/>). Основной целью создания ЦКП было развитие принципиально новой инфраструктуры для работы с данными ДЗЗ, предназначенной для решения различных научных и прикладных задач и обеспечивающей не только доступ к многолетним, постоянно пополняющимся архивам спутниковых данных, но и возможность их обработки и анализа.

Общая архитектура построения ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и основные его возможности по состоянию на 2015 г. достаточно подробно описаны в работе (Лупян и др., 2015в). За последние несколько лет существенное развитие получили как техническая инфраструктура центра (в частности, объём доступных пользователям данных в период с 2015 по 2018 г. вырос более чем в 4 раза), так и его функциональность. Расширение функциональных возможностей связано с поддержкой работы с новыми типами данных (например, с данными спутников семейства Sentinel), а также с развитием новых методов, подходов, алгоритмов и программного обеспечения, позволяющих успешно решать различные научные и прикладные задачи.

С ЦКП «ИКИ-Мониторинг» на начало 2019 г. работало более 70 научных организаций. Возможности центра использовались при выполнении нескольких десятков научных проектов, поддерживаемых, в частности, РФФ, РФФИ и Министерством науки и образования Российской Федерации. В 2019 г. центр вошёл в число 18 объектов научной инфраструктуры, для которых РФН поддержал 106 проектов в рамках конкурса «Проведение исследований на базе существующей научной инфраструктуры мирового уровня».

Настоящая публикация посвящена рассмотрению текущих возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» и накопленного опыта по его развитию и использованию. Особое внимание уделяется описанию новых технологий работы со спутниковыми данными, развитие которых во многом стимулировалось научными и прикладными проектами, выполняющимися с использованием возможностей центра. В заключение кратко представлены перспективные направления развития ЦКП.

Текущая структура ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

ЦКП «ИКИ-Мониторинг» построен на основе использования технологий и базового программного обеспечения, разработанных в отделе «Технологии спутникового мониторинга» ИКИ РАН (<http://smiswww.iki.rssi.ru/>), описанных, в частности, в работах (Лупян и др., 2004, 2011, 2012, 2015а; Прошин и др., 2016). Одним из ключевых преимуществ применяемых технологий является возможность создания на их основе центров работы с данными ДЗЗ, в которых практически полностью автоматизированы все процессы по сбору, архивации, обработке и представлению спутниковой информации. Главными техническими задачами, которые в настоящее время решает ЦКП «ИКИ-Мониторинг», являются:

- сбор спутниковых данных;
- ведение архивов спутниковых данных и результатов их обработки;
- потоковая обработка спутниковых данных для получения различных информационных продуктов;
- предоставление доступа к данным и инструментам для их анализа и обработки;
- автоматизированный контроль и управление различными программно-аппаратными блоками, входящими в состав центра, в том числе и удалёнными.

В рамках используемой при создании ЦКП «ИКИ-Мониторинг» общей архитектуры построения (Лупян и др., 2015в) за решение каждой из этих задач отвечает соответствующая программная подсистема. Ниже приведены общие сведения о текущей реализации каждой из этих подсистем, в том числе рассмотрены новые элементы и технологии, которые были разработаны и внедрены в центре в последние годы.

Подсистема сбора данных предназначена для получения из различных источников как исходных спутниковых данных, так и созданных на основе их обработки информационных продуктов. Также в её задачи входит предварительная подготовка данных для архивации. Основным достоинством реализованной подсистемы является полная автоматизация процессов получения спутниковых данных (Балашов и др., 2013). За последние годы объём получаемых из различных источников спутниковых данных вырос в несколько раз, в том числе и за счёт поддержки получения данных новых приборов наблюдения. В частности, были реализованы сбор и первичная обработка информации, поступающей с европейских спутников серии Sentinel, а также процедуры получения и усвоения в архивах центра данных новых российских спутниковых систем.

Подсистема архивации данных отвечает за архивацию спутниковой информации и продуктов, полученных на основе её обработки, а также за предоставление доступа к метаданным и данным в архивах на уровне программных интерфейсов. В 2016 г. все архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» были переведены на использование новой унифицированной технологии ведения сверхбольших распределённых архивов разнородных спутниковых данных UNISAT (Прошин и др., 2016). Это позволило однотипно реализовать работу с самыми разными видами спутниковых данных, отличающимися как пространственным разрешением, так и схемой организации хранения. Ключевыми преимуществами технологии UNISAT являются реализация механизма «виртуальных информационных продуктов», т. е. продуктов, которые динамически в режиме реального времени формируются по запросу пользователя на основе обработки имеющейся в архивах информации, а также гибкая поддержка инструментов для удалённого анализа и обработки данных. Эти преимущества во многом достигаются благодаря использованию специальной справочной базы данных, содержащей всю необходимую информацию о спутниковых приборах наблюдения, имеющихся в архивах типах продуктов, а также правила построения «виртуальных» информационных продуктов. В составе блока управления архивами создан специализированный служебный интерфейс, который позволяет с минимальными трудозатратами создавать и описывать новые типы «виртуальных» продуктов. Особо следует отметить, что одним из главных преимуществ «виртуальных» продуктов является то, что их реализация не требует массовой обработки всех имеющихся в архивах данных. При поступлении запросов от пользователей на получение «виртуальных» продуктов по любым экземплярам данных, по которым они могут быть построены, будут сформированы и предоставлены требуемые информационные продукты по заданной территории, т. е. при заведении нового «виртуального» продукта в архивах сразу «возникает» этот продукт для всего ряда имеющихся данных.

Для доступа к метаданным и данным в архивах реализованы программные сервисы, позволяющие выбрать интересующие пользователя данные по нескольким десяткам различных критериев поиска и непосредственно получить требуемые изображения в заданных разрешении и проекции. Взаимодействие с сервисами реализуется по разработанному в ИКИ РАН протоколу SMISWMS (Толпин и др., 2011), построенному на основе расширения стандарта WMS и других стандартов Open Geospatial Consortium. Реализация сервисов построена по модульному принципу, позволяющему легко наращивать их функционал путём добавления новых модулей. Для поддержки работы реализованных в рамках картографических веб-интерфейсов инструментов для анализа и обработки данных созданы специальные сервисы, позволяющие получить всю необходимую справочную информацию, включая характеристики приборов наблюдения и сведения о строении файлов данных. Централизованное хранение всей справочной информации, включая правила построения «виртуальных» информационных продуктов, позволяет использовать унифицированную процедуру получения спутниковых изображений для всех типов имеющихся в архивах данных. Для ускорения получения

изображений в картографическом интерфейсе все данные в архивах хранятся в виде пирамиды разрешений. Ещё одним преимуществом представленной технологии является гибкая поддержка практически произвольного разбиения данных на фрагменты для различных разрешений, что позволяет не только вычитывать данные подходящего масштаба, но и минимизировать число используемых при получении изображения фрагментов.

В рамках представленной технологии хранение самих файлов спутниковых данных реализуется на распределённом файловом хранилище, состоящем в настоящее время более чем из 30 серверов хранения, объединённых по протоколу NFS. Стремительный рост объёма постоянно поступающих в архивы данных привёл к необходимости создания автоматизированной процедуры их распределения на сервера хранения данных. Она позволяет при заполнении дискового пространства текущего сервера хранения автоматически перейти на использование следующего сервера, который для этого должен быть соответствующим образом зарегистрирован. При этом данные для архивации всегда поступают непосредственно на тот сервер, на котором они будут в дальнейшем храниться.

Подсистема обработки данных предназначена для проведения потоковой обработки поступающих в архивы новых данных, а также для построения различных информационных продуктов, получаемых на основе обработки уже имеющихся в архивах данных. Программная реализация основана на использовании разработанной в ИКИ РАН технологии и соответствующего ей программного обеспечения, функционал которого постоянно расширяется путём добавления модулей, отвечающих за новые типы обработки (Егоров и др., 2004; Лупян и др., 2012). Такое программное обеспечение однотипно устанавливается на специализированные станции обработки спутниковых данных. Благодаря централизованному управлению и контролю за выполнением всех процессов обработки спутниковых данных достигается высокая степень масштабируемости и отказоустойчивости подсистемы обработки. Для многих задач обработки спутниковых данных также активно используется и различное свободно распространяемое программное обеспечение, в частности GDAL, GRAS GIS, Proj, ImageJ и др.

В 2016 г. в ИКИ РАН была внедрена новая технология организации распределённой многопотоковой обработки данных (Кобец и др., 2015б), позволяющая более эффективно управлять работой многих десятков станций обработки спутниковой информации, входящих в состав программно-аппаратного комплекса ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Эта технология даёт возможность отслеживать все этапы выполнения процессов обработки спутниковых данных, что позволяет на качественно более высоком уровне осуществлять над ними контроль, а также проводить анализ эффективности программной реализации. Наряду со станциями обработки, функционирующими под ОС Windows, в настоящее время активно задействуются также сервера под управлением различных версий ОС UNIX, что позволяет использовать специализированные пакеты обработки, созданные для работы с данными различных спутниковых систем. В частности, для обработки данных прибора MODIS нами используется разработанный в NASA программный пакет SeaDAS (<https://seadas.gsfc.nasa.gov>), а для обработки данных спутников серии Sentinel — разработанный в ESA пакет приложений SNAP (Sentinel Application Platform, <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap>).

Подсистема обеспечения доступа к данным реализует три основных функциональных блока:

- спутниковый информационный сервис «ВЕГА-Science» (<http://sci-vega.ru>), обеспечивающий для удалённых пользователей интерактивный доступ к архивам данных ЦКП «ИКИ-Мониторинг», а также проведение их обработки и анализа. Достаточно подробно возможности сервиса описаны в работах (Барталев и др., 2012, 2017; Лупян и др., 2011, 2014а);
- программные интерфейсы для доступа к данным из тематических информационных систем;
- программный шлюз, позволяющий предоставлять доступ к данным, физически располагаемым во внешних архивах спутниковой информации.

Следует отметить, что спутниковый информационный сервис «ВЕГА-Science» обеспечивает пользователям возможность использования в рамках картографических веб-интерфей-

сов различных процедур анализа изображений с применением сложных инструментов обработки спутниковых данных. Многие из таких инструментов до недавнего времени были доступны только в специализированных локальных (настольных) и достаточно дорогостоящих комплексах анализа спутниковой информации. Кроме этого, пользователям предоставляется доступ к разнообразным отчётным формам, графикам и гистограммам, содержащим количественную информацию, полученную на основе анализа и обработки спутниковых данных, а также необходимых данных из других источников.

В ИКИ РАН была разработана технология GeoSmis (Толпин и др., 2011), предназначенная для создания и поддержки многофункциональных картографических веб-интерфейсов, работающих с данными сверхбольших распределённых архивов спутниковой информации. Она ориентирована не только на предоставление пространственной информации, но и на проведение её обработки и анализа (Кашницкий и др., 2015а, 2016). В последние годы функциональность подобных инструментов обработки и анализа данных была существенно расширена. Реализованы инструменты, работающие как в синхронном, так и в асинхронном режимах. В синхронном режиме пользователь получает результат проведённых им операций с минимальной временной задержкой, в то время как в асинхронном задание на обработку поступает в очередь на выполнение, а пользователь получает результаты по мере их готовности. Кроме того, модернизированная технология GeoSmis совместно с уже упоминавшейся выше технологией UNISAT позволила использовать в картографических интерфейсах «виртуальные» информационные продукты, которые динамически формируются по запросу пользователей.

Относительно новым направлением развития подсистемы доступа к данным стало применение BI-технологии (Business intelligence) (Moss, Atre, 2003), базирующейся на построении хранилищ структурированной информации на основе OLAP (online analytical processing). С использованием этой технологии реализуются интерактивные инструменты анализа (динамические отчётные формы, гистограммы, графики и карты), содержащие как информацию, полученную на основе обработки спутниковых данных, так и данные из других источников (Кобец и др., 2015а, 2016). Благодаря возможности проведения предварительной агрегации информации по различным признакам и параметрам эти инструменты позволяют достаточно быстро проводить анализ больших объёмов данных.

Подсистема управления и контроля предназначена для обеспечения бесперебойного функционирования центра коллективного пользования, включая различные территориально-распределённые блоки, входящие в его состав. Подсистема обеспечивает как проведение настройки различных функций управления, так и автоматизированный сбор и анализ информации, необходимой для управления ЦКП «ИКИ-Мониторинг», а также для выявления и устранения сбоев в работе её элементов.

Для интеграции всех программных инструментов подсистемы была создана специализированная система документирования и контроля проектов, которая достаточно подробно описана в работах (Балашов и др., 2011; Мамаев и др., 2008). Система, в частности, позволяет на основе автоматических проверок детектировать разнообразные типы ошибок в работе элементов центра и отслеживать процесс их устранения. Наиболее важными из таких проверок являются: контроль за своевременным поступлением различных типов спутниковых данных в архивы, за работой всех аппаратных компонент, а также контроль работы ключевых сервисов для доступа к данным.

За последние годы функционал системы управления и контроля был существенно расширен. В частности, значительно увеличилось количество автоматически детектируемых типов ошибок в работе системы, повышено качество их диагностики, позволяющей во многих случаях в максимально автоматизированном режиме определить причину возникновения ошибок. Реализован специализированный программный блок, отвечающий за мониторинг состояния серверов хранения спутниковых данных. Он позволяет получить информацию о скорости их работы, наличии свободного места, состоянии дисковых массивов, а также произвести оценку скорости расходования свободного пространства, необходимую для прогнозирования потребностей в наращивании мощностей хранения данных. На основе применения

VI-технологий был реализован целый ряд различных интерактивных отчётных форм (Кобец и др., 2017), позволяющих анализировать эффективность использования вычислительных ресурсов. Эти новые возможности позволили нам более эффективно выявлять необоснованные задержки, возникающие в процессах получения данных, их обработки и архивации.

Основные возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

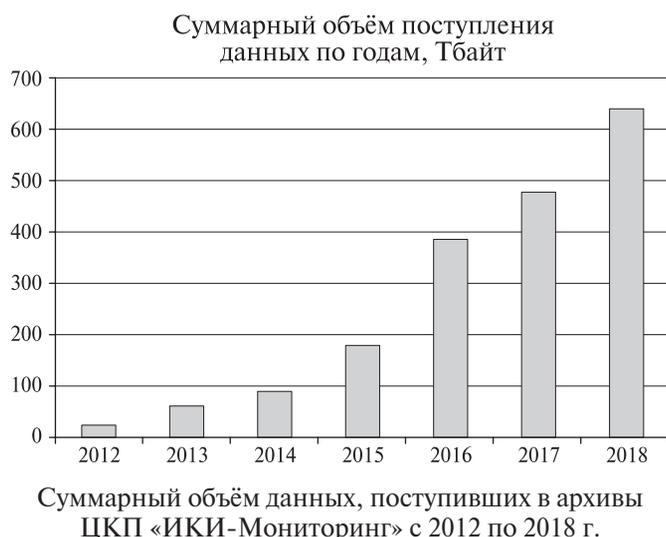
В настоящем разделе кратко описаны текущие возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», при этом особое внимание мы постарались уделить новым функциональным элементам, реализованным в центре в последние годы.

Ведение архивов спутниковых данных

В настоящее время архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» содержат данные более чем 35 различных приборов наблюдения, установленных как на отечественных, так и на зарубежных спутниках дистанционного зондирования Земли. Постоянно расширяется зона интересов, по которой в центре осуществляется сбор и архивация данных и которая по большей части зависит от интересов проектов, использующих возможности центра. Конечно, зоны покрытия данными, получаемыми от различных систем наблюдения, существенно различаются. Так, например, благодаря сотрудничеству ИКИ РАН и НИЦ «Планета» (Лупян и др., 2014б) пользователи центра имеют возможность работы с глобальными покрытиями данных, получаемых некоторыми российскими системами наблюдений. Область же покрытия данными спутников Landsat и Sentinel, имеющимися в архивах центра, составляет около 30 % площади поверхности Земли. В эту область входит вся Северная Евразия, включая арктические территории, приграничные моря России, а также ряд регионов в Африке, Азии, Северной и Южной Америке. Существенно, что в архивах центра в настоящее время накоплены достаточно длинные ряды данных. Например, архивы данных спутников серии Landsat начинаются с марта 1984 г.

Следует отметить, что архивы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» постоянно (ежедневно) пополняются. За последние четыре года суммарный объём спутниковых данных в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг» вырос более чем в два раза и в настоящий момент превышает 2,2 Пбайта. Столь стремительный рост объёмов обусловлен в первую очередь поступлением данных с новых европейских спутников серии Sentinel. В частности, объём данных прибора высокого разрешения MSI, установленного на спутниках Sentinel-2A и Sentinel-2B, в настоящее время уже превышает 1 Пбайт.

На рисунке приведена статистика суммарного объёма поступивших в архивы данных начиная с основания ЦКП «ИКИ-Мониторинг» по конец 2018 г.



Актуальная информация о наличии данных в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг», а также в архивах объединённой системы работы с данными НИЦ «Планета» (Лупян и др., 2014б) доступна на информационном сервере центра в разделе «Архивы данных» (<http://ckp.geosmis.ru/default.aspx?page=6>). Следует иметь в виду, что в этом разделе приводится информация об объёмах физически храня-

щихся в архивах данных, большую часть из которых составляют исходные спутниковые данные, используемые для динамического формирования широкого спектра различных «виртуальных» информационных продуктов.

Список доступных пользователям информационных продуктов существенно расширился как за счёт появления возможности создания «виртуальных» продуктов (продуктов, которые формируются в онлайн-режиме по запросам пользователей (Прошин и др., 2016)), так и за счёт реализации новых методов и процедур формирования информационных продуктов на основе имеющихся в архивах центра спутниковых данных. Так, например, в центре в последние годы были созданы технологии и системы автоматизированного получения различных информационных продуктов, ориентированных на изучение растительного покрова нашей планеты и его состояния (Барталев и др., 2016).

Возможности интерактивного анализа и обработки данных

Как уже было отмечено выше, основным вариантом доступа пользователей к спутниковым данным и интерактивным инструментам для их анализа и обработки является использование специализированных картографических веб-интерфейсов, построенных по технологии GeoSMIS (Толпин и др., 2011). Реализованные в рамках этих интерфейсов инструменты предоставляют пользователям широкий спектр возможностей по работе со спутниковыми данными, которые ранее были доступны только в дорогостоящих настольных приложениях. Большинство из разработанных на текущий момент инструментов доступно пользователям спутникового информационного сервиса «ВЕГА-Science» (<http://sci-vega.ru>), там же можно получить достаточно детальное описание имеющихся инструментов для анализа обработки данных и ознакомиться с возможными сценариями их использования. За последние годы был также реализован целый ряд специальных инструментов в интересах различных информационных систем, использующих возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», часть из которых будет кратко описана ниже. В настоящей работе для понимания объёмов и типов инструментов, реализованных на сегодня в «ВЕГА-Science», приведём краткое описание их основных функциональных групп.

1. *Инструменты для доступа и выбора данных.* Позволяют пользователю однотипно формировать интересующие его наборы данных из различных архивов спутниковой информации, используя при этом такие критерии поиска, как географическая область, диапазон дат, спутник, прибор, продукт, облачность и др. Предоставляется возможность просмотра данных в различном пространственном разрешении и проекции с наложением выбранных картографических слоёв. При необходимости пользователь может осуществить пространственную допривязку данных. Имеются также возможности формирования наборов данных для проведения их дальнейшей обработки и/или экспорта. В случае если пользователь заинтересован в добавлении в систему своих данных, у него также имеется такая возможность.
2. *Инструменты для обработки спутниковых данных.* Реализуют широкий спектр различных операций по обработке информации. Следует отметить, что в центре постоянно идёт разработка и интеграция в систему «ВЕГА-Science» новых инструментов анализа и обработки данных. Ниже приведены примеры таких инструментов, реализованных в системе:
 - инструменты расчёта спектральных индексов и алгебра изображений, позволяющие проводить арифметические, логические операции и различные математические преобразования над данными, вычислять спектральные индексы с произвольными выбранными каналами;
 - обучаемая и необучаемая классификация спутниковых данных, позволяющая разделять спутниковые изображения на отдельные классы по определённым параметрам. Используется для выделения особенностей изображения и построения тематических карт;

- цветовая коррекция изображения и синтез различных изображений, включая разновременные. Исследователю представляется набор инструментов, позволяющих непосредственно в веб-интерфейсе проводить совместный анализ данных, в том числе разновременных, контролировать видимость объектов на снимке, улучшать и выделять особенности изображения;
 - работа с палитрой изображения. Инструмент позволяет выделять определённые области на изображении путём изменения палитры, скрытия пикселей со значениями выше или ниже некоторой пороговой величины;
 - коррекция данных. Инструмент позволяет провести фильтрацию или топографическую коррекцию, вырезать произвольную область выбранных каналов любых взятых из архива спутниковых изображений;
 - структурный анализ изображений. Инструмент реализует технологию LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis). Эта технология предназначена для автоматизации анализа в геологических исследованиях данных различного типа: изображений, схем, цифровых моделей рельефа (ЦМР). Она позволяет получить единообразное численное описание рисунка (текстуры) этих данных, описание распределения и ориентации мелких линейных элементов рисунка.
3. *Инструменты для работы с рядами данных.* Позволяют в графическом виде анализировать временные, пространственные и спектральные ряды данных. При этом может проводиться анализ как данных в отдельных пространственных точках, так и данных, осреднённых на произвольно выбранный объект. В том числе они позволяют проводить анализ:
- временных рядов данных: значений в заданных точках, индексов по объектам (полям), метеопараметров и т. п.;
 - спектральных профилей в выбранных точках или выделенных объектов;
 - метеоданных, включая их вертикальные профили;
 - пространственных профилей вдоль произвольно заданных маршрутов.
4. *Инструменты анализа различных характеристик данных.* Позволяют проводить измерение длин и площадей объектов, анализ одномерных и двумерных гистограмм, расчёт статистических характеристик или произвольно выбранных областей изображений.
5. *Специализированные инструменты для анализа и мониторинга объектов.* Такие инструменты формируются для решения задач наблюдения и исследования конкретных объектов, в том числе они позволяют формировать объекты наблюдений и вести соответствующие базы данных, содержащие их характеристики. В качестве примеров таких инструментов можно привести:
- мониторинг и анализ состояния сельскохозяйственных полей и контроль динамики развития посевов сельскохозяйственных культур (Толпин и др., 2014);
 - выявление лесных вырубок на основе использования временной серии чувствительных к изменениям растительного покрова спектральных каналов спутниковых изображений двух последовательных годов и сравнение получаемых по ним оценок проективного покрытия древесного полога леса в пикселе;
 - выделение пепловых шлейфов и их характеристик (Гордеев и др., 2016);
 - оконтуривание гарей (площадей, пройденных природными пожарами) от пожаров по данным высокого разрешения (Кашницкий и др., 2015б).
6. *Инструменты моделирования.* Предназначены для прогнозирования изменений тех или иных объектов наблюдения во времени:
- моделирование поведения пепловых шлейфов от вулканов (Сорокин и др., 2016);
 - моделирование динамики развития пожаров (Хвостиков и др., 2012).
7. *Инструменты, обеспечивающие работу с метеорологической информацией* (Уваров и др., 2013).
8. *Инструмент для подготовки презентационных веб-интерфейсов* для иллюстрации различных явлений и процессов. Позволяет выделить ограниченный набор данных из информационной системы мониторинга, включая спутниковые снимки и полученные

пользователем результаты их обработки. С помощью этого инструмента вся полученная и анализируемая информация из информационной системы может быть представлена в сокращённом виде, удобном для широкого представления и обсуждения.

Программные интерфейсы для доступа к ресурсам ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

При создании общей архитектуры построения ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015в) особое внимание уделялось поддержке программных интерфейсов (сервисов), ориентированных на обеспечение работы научных и прикладных информационных систем дистанционного мониторинга. Для решения данной задачи в настоящее время в центре реализованы, в частности, следующие сервисы и программные интерфейсы:

- *сервис доступа к метаданным* в архивах позволяет производить поиск интересующих пользователей данных по нескольким десяткам различных критериев, таких как: координатная область, временной диапазон, список спутников и приборов наблюдения, облачность данных, список информационных продуктов и многие другие. Специальная система проектных настроек позволяет при необходимости задавать для каждого пользователя индивидуальную область видимости данных, что особенно важно в случаях, когда те или иные данные доступны только ограниченному кругу пользователей. Также реализован специальный сервис для получения информации о возможных значениях различных параметров при запросе метаданных, что позволяет динамически формировать элементы картографических интерфейсов, отвечающие за поиск данных в архивах;
- *сервис получения расширенных метаданных* предназначен для получения детальной справочной информации о выбранных пользователем данных, включающей в себя характеристики приборов наблюдения и правила построения информационных продуктов. Такая информация необходима для реализации большинства инструментов анализа и обработки данных;
- *сервис получения данных* предназначен для получения изображений, соответствующих выбранным пользователем экземплярам информационных продуктов. Он позволяет получить изображение по интересующей пользователя географической области, в заданной проекции и в требуемом пространственном разрешении. Этот же сервис отвечает за формирование различных композитных изображений, получаемых по набору информационных продуктов;
- программные интерфейсы, отвечающие за реализацию инструментов анализа и обработки спутниковых данных, позволяют переносить имеющийся в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» функционал картографических веб-интерфейсов в другие информационные системы. В перспективе планируется реализация их в виде сервисов, доступных для сторонних разработчиков информационных систем.

Механизмы взаимодействия ЦКП «ИКИ-Мониторинг» с различными информационными системами

Доступ информационных систем к возможностям, предоставляемым ЦКП «ИКИ-Мониторинг», реализуется на основе использования сервисов. В качестве таких сервисов могут выступать как описанные выше стандартные программные интерфейсы, так и специализированные сервисы для доступа к различной тематической информации. В качестве примера последних можно привести реализованные механизмы доступа к информации о природных пожарах (детектированные очаги горения; площади, пройденные пожарами; информация о гибели лесов на территориях, пройденных огнём и т.д.) и о состоянии сельскохозяйственных земель и посевов (динамика развития посевов на различных полях; отклонения этой

динамики от нормальных (среднегодовых) графиков развития в конкретном регионе; использование земель и т. д.).

Следует отметить, что в интересах конкретных информационных систем обычно реализуются специальные интерфейсы и инструменты анализа данных, необходимые для решения задач, на которые ориентирована та или иная система.

В уникальной научной установке «ВЕГА-Science» также реализованы схемы онлайн-взаимодействия с различными сторонними информационными системами. К ним можно отнести, например, объединённую систему работы с данными НИЦ «Планета» (Бурцев и др., 2019; Лупян и др., 2014б) и геопортала «Роскосмоса» (Тохиян, Кошкин, 2011; Тохиян и др., 2015) (<https://gptl.ru/>). Это позволяет обеспечивать в режиме непосредственного доступа получение предоставляемых различными информационными системами данных как специалистами, проводящими научные исследования с использованием ЦКП «ИКИ-Мониторинг», так и в интересах проектов, которые ИКИ РАН выполняет совместно с владельцами различных информационных систем дистанционного мониторинга.

Используемые для взаимодействия информационных систем сервисы, как правило, функционируют по протоколам HTTP, HTTPS и построены на основе архитектуры REST API. Для обмена данными также используются сетевые протоколы FTP, FTPS.

Примеры информационных систем, использующих возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

Центром коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» в настоящее время пользуются более 20 информационных систем дистанционного мониторинга (СДМ), направленных на решение различных научных и прикладных задач. В основном они используют возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», связанные с обеспечением распределённой работы с архивами спутниковых данных и результатов их обработки. Также в системах применяется необходимый им инструментарий обработки и анализа данных, предоставляемый центром. Большинство СДМ созданы на основе технологий и программных решений, на которых реализованы различные подсистемы ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Это позволяет максимально полно реализовывать возможности центра. Следует отметить, что во многих случаях в интересах СДМ осуществляется доработка подсистем центра для обеспечения функциональности, необходимой конкретной информационной системе. Также в интересах конкретных СДМ может производиться увеличение зоны покрытия, по которой ведутся архивы данных центра, и расширяться состав данных и информационных продуктов, с которыми работает центр. Ниже мы приведём несколько примеров научных и прикладных СДМ, которые в настоящее время активно используют возможности центра.

Научные информационные системы дистанционного мониторинга обычно создаются в интересах изучения каких-то конкретных явлений или процессов, а также при разработке новых методов и подходов к проведению их мониторинга в научных или прикладных целях. Такие системы, как правило, разрабатываются при поддержке различных научных проектов. К системам, активно использующим сегодня возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг», можно, в частности, отнести нижеследующие.

Спутниковый сервис See the Sea (STS) (Лаврова и др., 2019; Уваров и др., 2014), (<http://ocean.smlab.ru/>). Создан и развивается ИКИ РАН при поддержке проектов Минобрнауки, РФФИ и РФФ (тема МОНИТОРИНГ № 01.20.0.2.00164, РФФИ 13-07-12017, РФФ 14-17-00555, РФФ 19-77-20060). Сервис ориентирован на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных задач исследования Мирового океана. Особое внимание в системе уделяется данным спутниковой радиолокации. Именно в интересах системы STS в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» была реализована возможность работы с этими данными. В настоящий момент центр предоставляет доступ к архивам радиолокационных данных, полученных от спутниковых систем Envisat и Sentinel-1. Также был реализован дополнительный функционал, обеспечивающий получение и работу с информационными продуктами, используемыми для мониторинга и изучения различных процессов на морской поверхности.

Информационная система «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил (VolSatView)» (Гирина и др., 2017б, 2019) (<http://volcanoes.smlab.ru/>). Разработана и развивается совместно с Институтом вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения РАН (ИВиС ДВО РАН), Вычислительным центром Дальневосточного отделения РАН (ВЦ ДВО РАН), Дальневосточным Центром «НИЦ «Планета» (ДЦ «НИЦ «Планета») и ИКИ РАН при поддержке проектов Минобрнауки, РФФИ и РНФ (тема «Мониторинг», № 01.20.0.2.00164; РФФИ, № 13-07-12180; РНФ, № 16-17-00042). Основной задачей системы является обеспечение специалистов-вулканологов оперативными спутниковыми данными и различными информационными продуктами, получаемыми на основе их обработки, для мониторинга и изучения вулканической активности Камчатки и Курил. В интересах VolSatView в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» была, в частности, реализована возможность работы с данными японского геостационарного спутника нового поколения Himawari-8 (Гирина и др., 2017а), который позволяет вести постоянный мониторинг крупномасштабных объектов и процессов с периодичностью наблюдений 10 мин, а для некоторых выбранных территорий — каждые 2 мин. Также был реализован дополнительный функционал, обеспечивающий работу с данными, например с долговременными рядами наблюдений в выбранных точках.

Информационная система VEGA-GEOGLAM (Толпин и др., 2019; Bartalev et al., 2017) (<http://vega.geoglam.ru/>). Была разработана ИКИ РАН при поддержке проекта Европейской Комиссии SIGMA (https://twitter.com/SIGMA_GEOGLAM). Целью системы является обеспечение инструментами анализа данных дистанционных наблюдений для разработки методов и подходов глобального мониторинга сельского хозяйства в интересах проекта GEOGLAM (<http://geoglam.org>). В интересах системы в ЦКП «ИКИ-Мониторинг» была, в частности, реализована возможность работы с данными по различным полигонам сети JESAM (<http://jesam.org/>) как на территории России, так и в других регионах мира. Также был реализован дополнительный функционал, обеспечивающий работу с данными. Например, создан инструмент для возможностей краудсорсинга для выявления используемых земель (Waldner et al., 2019).

В настоящее время возможности ЦКП «ИКИ-Мониторинг» также активно используются различными специализированными СДМ, ориентированными на мониторинг состояния окружающей среды, состояния лесных и сельскохозяйственных ресурсов, различных антропогенных объектов и транспортной инфраструктуры. Наиболее яркими примерами таких систем, на наш взгляд, являются:

- Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ИСДМ-Рослесхоз (Лупян и др., 2015б) (<https://aviales.ru>). Система создавалась и развивалась большим консорциумом, в состав которого входили организации и институты Рослесхоза, РАН, Росгидромета, а также других ведомств и частные предприятия. В настоящее время система активно пользуется различными онлайн-сервисами, которые предоставляет ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Заинтересованность ИСДМ-Рослесхоз в получении информации о состоянии лесного покрова и повреждении его лесными пожарами стала одним из основных стимулов существенного расширения в последние годы состава и качества информационных продуктов и сервисов, представляемых центром;
- Модуль работы с данными дистанционного зондирования Земли Единой федеральной информационной системы земель сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) (Козубенко, 2018). Был разработан совместно ООО ИКИЗ и ИКИ РАН. Задачей модуля является обеспечение ЕФИС ЗСН возможностями оперативного доступа к архивным и оперативным спутниковым данным и к информации, получаемой на их основе, для решения задач мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов. В настоящее время ЕФИС ЗСН активно пользуется различными онлайн-сервисами, которые предоставляет ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Заинтересованность ЕФИС ЗСН в получении информации о состоянии сельскохозяйственной растительности, в частности, стимулировала развитие и внедрение в центре новых информационных продуктов, в первую очередь безоблачных композитов вегетационных индексов, получаемых на

основе спутниковой информации. Также для работы экспертов Аналитического центра МСХ РФ на основе возможностей центра была создана ИС Аналитик ДЗЗ ЕФИС ЗСН «ИКИ-Мониторинг» (Буланов и др., 2019) (<http://efis.geosmis.ru>). В настоящее время на основе этой информационной системы разработаны различные методики использования спутниковых данных для решения задач дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель и посевов.

Таким образом, опыт взаимодействия ЦКП «ИКИ-Мониторинг» с различными специализированными системами дистанционного мониторинга показывает, что такая практика является хорошим стимулом развития центра.

Заключение

Успешный опыт развития и эксплуатации ЦКП «ИКИ-Мониторинг» показывает актуальность выбранного нами подхода к обеспечению доступа к сверхбольшим распределённым архивам спутниковой информации, предоставляющего пользователям широкий спектр инструментов для интерактивного анализа и обработки данных. Это подтверждается большим числом действующих информационных систем, проектов, и научных организаций, использующих предоставляемые центром возможности.

В перспективе мы планируем продолжить развитие ЦКП «ИКИ-Мониторинг» в направлении создания специализированной информационной среды (Лупян и др., 2018), позволяющей комплексно решать задачи разработки и поддержки новых СДМ. Такая среда должна предоставлять удобные и стандартизированные сервисы доступа к данным и процедурам для их обработки и анализа, а также вычислительные ресурсы, необходимые для размещения программных комплексов и процедур, обеспечивающих работу СДМ. Важным направлением развития центра мы также считаем создание его узлов в заинтересованных в сотрудничестве организациях, в первую очередь в высших учебных заведениях. Всё это, на наш взгляд, позволит сформировать среду для эффективного использования возможностей современных спутниковых систем ДЗЗ для решения различных научных и прикладных задач.

Работы по созданию методов и технологий работы с сверхбольшими распределёнными архивами спутниковых данных ЦКП «ИКИ-Мониторинг» с 2019 г. выполняются в рамках темы Минобрнауки РФ «Большие данные в космических исследованиях: астрофизика, солнечная система, геосфера» (№ 0024-2019-0014).

Литература

1. Балашов И. В., Ефремов В. Ю., Мазуров-мл. А. А., Мамаев А. С., Матвеев А. М., Прошин А. А. Особенности организации контроля и управления распределённых систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 161–166.
2. Балашов И. В., Халикова О. А., Бурицев М. А., Лупян Е. А., Матвеев А. М. Организация автоматического получения наборов информационных продуктов из центров архивации и распространения спутниковых и метеоданных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 9–20.
3. Барталев С. А., Еришов Д. В., Лупян Е. А., Толпин В. А. 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.
4. Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Шабанов Н. В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
5. Буланов К. А., Денисов П. В., Лупян Е. А., Мартыанов А. С., Середа И. И., Трошко К. А., Толпин В. А., Барталев С. А., Хвостиков С. А. Блок работы с данными дистанционного зондирования Земли Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения

- // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 171–182.
6. Бурцев М. А., Успенский С. А., Крамарева Л. С., Антонов В. Н., Калашников А. В., Балашов И. В., Кашицкий А. В., Лупян Е. А., Матвеев А. М., Прошин А. А. Современные возможности и перспективы развития Объединённой системы распределённой работы с данными НИЦ «Планета» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 198–212.
 7. Гирина О. А., Крамарева Л. С., Лупян Е. А., Мельников Д. В., Маневич А. Г., Сорокин А. А., Уваров И. А., Кашицкий А. В., Бурцев М. А., Марченков В. В., Бриль А. А., Мазуров А. А., Романова И. М., Мальковский С. И. (2017а) Применение данных спутника Himawari для мониторинга вулканов Камчатки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 7. С. 65–76. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-65-76.
 8. Гирина О. А., Лупян Е. А., Гордеев Е. И., Сорокин А. А., Крамарева Л. С., Мельников Д. В., Маневич А. Г., Уваров И. А., Кашицкий А. В., Романова И. М., Константинова А. М., Королев С. П. (2017б) Информационная система VolSatView для комплексного анализа активности вулканов Камчатки и Курил // 4-я Всерос. научно-практическая конф. «Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления»: сб. тр. Хабаровск, 11–14 сент. 2017. Хабаровск: Тихоокеанский гос. ун-т, 2017. С. 36–39.
 9. Гирина О. А., Лупян Е. А., Мельников Д. В., Кашицкий А. В., Уваров И. А., Бриль А. А., Константинова А. М., Бурцев М. А., Маневич А. Г., Гордеев Е. И., Крамарева Л. С., Сорокин А. А., Мальковский С. И., Королев С. П. Создание и развитие информационной системы «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 249–265.
 10. Гордеев Е. И., Гирина О. А., Лупян Е. А., Сорокин А. А., Мельников Д. В., Маневич А. Г., Романова И. М., Крамарева Л. С., Ефремов В. Ю., Кобец Д. А., Кашицкий А. В., Королев С. П., Бурцев М. А., Самойленко С. Б. Комплексный анализ данных об эксплозивных извержениях вулканов Камчатки в ИС VolSatView // Вулканизм и связанные с ним процессы: материалы региональной научной конф., посвящённой Дню вулканолога. 29–30 марта 2016. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016. С. 53–64.
 11. 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.
 12. Кашицкий А. В., Балашов И. В., Лупян Е. А., Толпин В. А., Уваров И. А. (2015а) 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.
 13. Кашицкий А. В., Лупян Е. А., Барталев С. А., Барталев С. С., Балашов И. В., Ефремов В. Ю., Стыценко Ф. В. (2015б) Оптимизация интерактивных процедур картографирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга природных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 4. С. 7–16.
 14. Кашицкий А. В., Лупян Е. А., Балашов И. В., Константинова А. М. Технология создания инструментов обработки и анализа данных сверхбольших распределённых спутниковых архивов // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 9. С. 772–777. DOI: 10.15372/AOO20160908.
 15. Кобец Д. А., Балашов И. В., Данилов И. Д., Лупян Е. А., Сычугов И. Г., Толпин В. А. (2015а) Использование VI-технологий для создания инструментов для анализа данных спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 4. С. 17–27.
 16. Кобец Д. А., Матвеев А. М., Мазуров А. А., Прошин А. А. (2015б) Организация автоматизированной многопоточной обработки спутниковой информации в системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 145–155.
 17. Кобец Д. А., Балашов И. В., Сычугов И. Г., Толпин В. А. Построение на основе VI-технологий инструментов анализа информации о состоянии лесов, получаемой на основе данных спутниковых наблюдений // Докл. 6-й Всерос. конф. «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии». Москва, 20–22 апр. 2016. М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 24–28.
 18. Кобец Д. А., Балашов И. В., Сычугов И. Г., Толпин В. А. Организация контроля и анализа работоспособности систем автоматизированной обработки спутниковых данных с использованием

- VI-технологий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 3. С. 92–103. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-92-103.
19. Козубенко И. С. Почвенная информация в аналитическом центре Минсельхоза России // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 2018. Вып. 92. С. 3–15. DOI: 10.19047/0136-1694-2018-92-3-15.
 20. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Уваров И. А., Лупян Е. А. Текущие возможности и опыт использования информационной системы See the Sea для изучения и мониторинга явлений и процессов на морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 266–287.
 21. Лупян Е. А., Саворский В. П. Базовые продукты обработки данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 87–97.
 22. 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.
 23. Лупян Е. А., Мазуров А. А., Назиров Р. Р., Прошин А. А., Флитман Е. В., Крашенинникова Ю. С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 26–43.
 24. Лупян Е. А., Ершов Д. В., Барталев С. А., Исаев А. С. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров и их последствий: результаты последнего десятилетия и перспективы // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: докл. 5-й Всерос. конф., посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов В. И. Сухих и Г. Н. Коровина. Москва, 22–24 апр. 2013. М.: ЦЭПЛ РАН, 2013. С. 40–43.
 25. Лупян Е. А., Барталев С. А., Толпин В. А., Жарко В. О., Крашенинникова Ю. С., Оксюкевич А. Ю. (2014а) Использование спутникового сервиса ВЕГА в региональных системах дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 215–232.
 26. Лупян Е. А., Милехин О. Е., Антонов В. Н., Крамарева Л. С., Бурцев М. А., Балашов И. В., Толпин В. А., Соловьев В. И. (2014б) Система работы с объединенными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ «Планета» // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 89–97.
 27. Лупян Е. А., Балашов И. В., Бурцев М. А., Ефремов В. Ю., Кашицкий 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. (2015а) Создание технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 53–75.
 28. Лупян Е. А., Барталев С. А., Ершов Д. В., Котельников Р. В., Балашов И. В., Бурцев М. А., Егоров В. А., Ефремов В. Ю., Жарко В. О., Ковганко К. А., Колбудаев П. А., Крашенинникова Ю. С., Прошин А. А., Мазуров А. А., Уваров И. А., Стыценок Ф. В., Сычугов И. Г., Флитман Е. В., Хвостиков С. А., Шуляк П. П. (2015б) Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 222–250.
 29. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Ефремов В. Ю., Кашицкий А. В., Мазуров А. А., Матвеев А. М., Суднева О. А., Сычугов И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А. (2015в) 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.
 30. 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.
 31. Мамаев А. С., Прошин А. А., Флитман Е. В. Создание системы документирования и контроля распределенных информационных систем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5. Т. 2. С. 557–560.
 32. Прошин А. А., Лупян Е. А., Балашов И. В., Кашицкий 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.

33. Сорокин А. А., Королев С. П., Гирина О. А., Балашов И. В., Ефремов В. Ю., Романова И. М. Интегрированная программная платформа для комплексного анализа распространения пепловых шлейфов при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 9–19. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-9-19.
34. 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.
35. 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.
36. Толпин В. А., Барталев С. А., Ёлкина Е. С., Кашницкий А. В., Константинова А. М., Лупян Е. А., Марченков В. В., Плотников Д. Е., Патил В. К., Сунил Дж. К. Информационная система VEGA-GEOGLAM — инструмент разработки методов и подходов использования данных спутникового дистанционного зондирования в интересах решения задач глобального сельскохозяйственного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 183–197.
37. Тохиян О. О., Кошкин К. В. Опыт разработки и эксплуатации геопортала Роскосмоса // Геоматика. 2011. № 2. С. 20–28.
38. Тохиян О. О., Васильев А. Ю., Гладков А. П. Расширение возможностей сервисов Геопортала Роскосмоса // Геоматика. 2015. № 2. С. 22–25.
39. 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., Крашенинникова 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.
40. Уваров И. А., Лупян Е. А., Матвеев А. М., Мазуров А. А., Лаврова О. Ю., Митягина М. И. Организация работы с данными спутниковых гиперспектральных наблюдений для исследования процессов в Мировом океане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. №. 1. С. 200–212.
41. Хвостиков С. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Ефремов В. Ю., Лупян Е. А. Региональная оптимизация параметров прогнозной модели природных пожаров и оперативное моделирование динамики их развития с использованием данных спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 3. С. 91–100.
42. Bartalev S. A., Loupian E. A., Tolpin V. A., Elkina E. S. Web-based Earth Observation data analysis system VEGA — GEOGLAM in support of global agricultural monitoring research and developments // Geoinformatics Research Papers. 2017. V. 5. BS1002. P. 166. DOI: 10.2205/CODATA2017.
43. Moss L. T., Atre S. Business intelligence roadmap: the complete project lifecycle for decision-support applications. Addison-Wesley Professional, 2003. 576 p.
44. Satellites to be built & launched by 2026: World Market Survey. Euroconsult, 2017. 7 p. URL: <http://www.euroconsult-ec.com/research/satellites-built-launched-by-2026-brochure.pdf>.
45. Waldner F., Schucknecht A., Lesiv M., Gallego J., See L., Pérez-Hoyos A., d'Andrimont R., de Maet T., Laso Bayas J. C., Fritz S., Leo O., Kerdiles H., Díez M., Van Tricht K., Gilliams S., Shelestov A., Lavreniuk M., Simões M., Ferraz R., Bellón B., Bégué A., Hazeu G., Stonacek V., Kolomaznik J., Misurec J., Veron S. R., De Abelleira D., Plotnikov D. E., Mingyong L., Singha M., Patil P., Zhang Y., Defourny P. Conflation of expert and crowd reference data to validate global binary thematic maps // Remote Sensing of Environment. 2019. V. 221. P. 235–246. DOI: 10.1016/j.rse.2018.10.039.
46. Zhu L., Suomalainen J., Liu J., Hyypä J., Kaartinen H., Haggren H. A Review: Remote Sensing Sensors // Multi-purposeful Application of Geospatial Data / ed. Rustamov R. B., Hasanova S., Zeynalova M. H. IntecOpen, 2018. DOI: 10.5772/intechopen.71049. URL: <https://www.intechopen.com/books/multi-purposeful-application-of-geospatial-data/a-review-remote-sensing-sensors>.

Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data

E. A. Loupian, A. A. Proshin, M. A. Bourtsev, A. V. Kashnitskii, I. V. Balashov, S. A. Bartalev, A. M. Konstantinova, D. A. Kobets, A. A. Mazurov, V. V. Marchenkov, A. M. Matveev, M. V. Radchenko, I. G. Sychugov, V. A. Tolpin, I. A. Uvarov

*Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: evgeny@smis.iki.rssi.ru*

The proposed article is devoted to the description of the operating experience and the development of the IKI-Monitoring center (<http://ckp.geosmis.ru/>) for the collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data. The relevance of the task of providing access to ultra-large distributed archives of satellite data on the basis of a fundamentally new approach, providing users with the opportunity for interactive analysis and processing of data based on the use of high-performance computing resources of satellite data centers is considered. On the basis of this approach, in 2012, the IKI-Monitoring center for collective use was established. To date, more than 70 different organizations have benefited from the resources provided by the center. The capabilities of the center were used in the implementation of several dozen scientific projects, including projects, supported by the Russian Science Foundation, the Russian Foundation for Basic Research and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation. This paper provides the review of the current capabilities of IKI-Monitoring and the accumulated experience in its development and use. Special attention is paid to the description of new technologies for working with satellite data, the development of which was largely stimulated by scientific and applied projects carried out using the center's capabilities. In conclusion, the perspective directions of the center's development are briefly presented.

Keywords: remote sensing, satellite data, information system, system of collective usage, big data, satellite data archives, satellite data processing

Accepted: 29.06.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170

References

1. Balashov I. V., Efremov V. Yu., Mazurov-m. A. A., Mamaev A. S., Matveev A. M., Proshin A. A., Osobennosti organizatsii kontrolya i upravleniya raspredelennykh sistem distantsionnogo monitoringa (Features of remote monitoring distributed systems control and monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 3, pp. 161–166.
2. Balashov I. V., Khalikova O. A., Burtsev M. A., Loupian E. A., Matveev A. M., Organizatsiya avtomaticheskogo polucheniya naborov informatsionnykh produktov iz tsentrov arkhivatsii i rasprostraneniya sputnikovyykh i meteodannykh (Organization of automatic data acquisition from satellite and meteorological data archiving and distribution centers), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 3, pp. 9–20.
3. Bartalev S. A., Ershov D. V., Loupian E. A., Tolpin V. A., Vozmozhnosti ispol'zovaniya sputnikovogo servisa VEGA dlya resheniya razlichnykh zadach monitoringa nazemnykh ekosistem (Possibilities of Satellite Service VEGA Using for Different Tasks of Land Ecosystems Monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 1, pp. 49–56.
4. Bartalev S. A., Egorov V. A., Zharko V. O., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Khvostikov S. A., Shabanov N. V., *Sputnikovoe kartografirovanie rastitel'nogo pokrova Rossii* (Land cover mapping over Russia using Earth observation data), Moscow: IKI RAN, 2016, 208 p.
5. Bulanov K. A., Denisov P. V., Loupian E. A., Martyanov A. S., Sereda I. I., Troshko K. A., Tolpin V. A., Bartalev S. A., Khvostikov S. A., Blok raboty s dannymi distantsionnogo zondirovaniya Zemli Edinoi federal'noi informatsionnoi sistemy o zemlyakh sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya (Remote sensing Unit of Integrated Federal Information System on Agricultural Lands), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 171–182.

6. Burtsev M. A., Uspenskiy S. A., Kramareva L. S., Antonov V. N., Kalashnikov A. V., Balashov I. V., Kashnitskii A. V., Loupian E. A., Matveev A. M., Proshin A. A., *Sovremennye vozmozhnosti i perspektivy razvitiya Ob'edinennoi sistemy raspredelennoi raboty s dannymi NITs "Planeta" (Actual features and evolution prospects of the SRC "Planeta" distributed data operation united system)*, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 198–212.
7. Girina O. A., Kramareva L. S., Loupian E. A., Melnikov D. V., Manevich A. G., Sorokin A. A., Uvarov I. A., Kashnitskiy A. V., Burtsev M. A., Marchenkov V. V., Bril A. A., Mazurov A. A., Romanova I. M., Malkovsky S. I. (2017a), *Primenenie dannykh sputnika Himawari dlya monitoringa vulkanov Kamchatki (The use of Himawari satellite data for monitoring Kamchatka volcanoes)*, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 7, pp. 65–76, DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-7-65-76.
8. Girina O. A., Loupian E. A., Gordeev E. I., Sorokin A. A., Kramareva L. S., Melnikov D. V., Manevich A. G., Uvarov I. A., Kashnitskiy A. V., Romanova I. M., Konstantinova A. M., Korolev S. P. (2017b), *Informatsionnaya sistema VolSatView dlya kompleksnogo analiza aktivnosti vulkanov Kamchatki i Kuril (Information system Volsatview for complex analysis of Kamchatka and Northern Kuril Volcanic Activity)*, *4-ya Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Informatsionnye tekhnologii i vysokoproizvoditel'nye vychisleniya" (4th All-Russia Scientific and Practical Conf. "Information Technologies and High-Performance Computing")*, Proc., Khabarovsk, Sep. 11–14, 2017, Khabarovsk: Tikhoookeanskii gosudarstvennyi universitet, 2017, pp. 36–39.
9. Girina O. A., Loupian E. A., Melnikov D. V., Kashnitskii A. V., Uvarov I. A., Bril A. A., Konstantinova A. M., Burtsev M. A., Manevich A. G., Gordeev E. I., Kramareva L. S., Sorokin A. A., Malkovsky S. I., Korolev S. P., *Sozdanie i razvitie informatsionnoi sistemy "Distsionnyi monitoring aktivnosti vulkanov Kamchatki i Kuril" (Creation and development of the information system "Remote Monitoring of Kamchatka and Kuril Islands Volcanic Activity")*, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 249–265.
10. Gordeev E. I., Girina O. A., Loupian E. A., Sorokin A. A., Melnikov D. V., Manevich A. G., Romanova I. M., Kramareva L. S., Efremov V. Yu., Kobets D. A., Kashnitskiy A. V., Korolev S. P., Burtsev M. A., Samoilenko S. B., *Kompleksnyi analiz dannykh ob eksplozivnykh izverzheniyakh vulkanov Kamchatki v IS VolSatView (Complex analysis of the Kamchatka volcanoes explosive eruptions data with the VolSatView information system)*, *Vulkanizm i svyazannye s nim protsessy (Volcanism and associated processes)*, Proc. Regional Scientific Conf., Mar. 29–30, 2016, Petropavlovsk-Kamchatsky: IViS DVO RAN, 2016, pp. 53–64.
11. 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 programmno 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.
12. Kashnitskiy A. V., Balashov I. V., Loupian E. A., Tolpin V. A., Uvarov I. A. (2015a), *Sozdanie instrumentov dlya udalenoj 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.
13. Kashnitskiy A. V., Loupian E. A., Bartalev S. A., Bartalev S. S., Balashov I. V., Efremov V. Yu., Stytsenko F. V. (2015b), *Optimizatsiya interaktivnykh protsedur kartografirovaniya garei v informatsionnykh sistemakh distantsionnogo monitoringa prirodnykh pozharov (Optimization of burn mapping interactive procedures in remote fire monitoring information systems)*, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 4, pp. 7–16.
14. Kashnitskiy A. V., Loupian 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.
15. Kobets D. A., Balashov I. V., Danilov I. D., Loupian E. A., Sychugov I. G., Tolpin V. A. (2015a), *Ispol'zovanie VI-tekhnologii dlya sozdaniya instrumentov dlya analiza dannykh sputnikovogo monitoringa (Using BI technologies to create analysis tools for satellite remote sensing data)*, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 4, pp. 17–27.
16. Kobets D. A., Matveev A. M., Mazurov A. A., Proshin A. A. (2015b), *Organizatsiya avtomatizirovannoi mnogopotokovoi obrabotki sputnikovoi informatsii v sistemakh distantsionnogo monitoringa (Organization of automated multithreaded processing of satellite information in remote monitoring systems)*, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 145–155.
17. Kobets D. A., Balashov I. V., Sychugov I. G., Tolpin V. A., *Postroenie na osnove BI-tekhnologii instrumentov analiza informatsii o sostoyanii lesov, poluchaemoi na osnove dannykh sputnikovykh nablyudenii*

- (The BI Technologys Use to Create Tools for Data Analysis of Satellite Remote Sensing), *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii, lesnom khozyaistve i ekologii* (Aerospace Methods and GIS-Technologies in Forestry, Forest Management and Ecology), Proc. 6th All-Russia Conf., Moscow, April 20–22, 2016, Moscow: TsEPL RAN, 2016, pp. 24–28.
18. Kobets D. A., Balashov I. V., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Organizatsiya kontrolya i analiza rabotosposobnosti sistem avtomatizirovannoi obrabotki sputnikovykh dannykh s ispol'zovaniem BI-tekhnologii (Organization of control and performance analysis of systems for automated processing of satellite data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 3, pp. 92–103, DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-92-103.
 19. Kozubenko I. S., Pochvennaya informatsiya v analiticheskom tsentre Minsel'khoza Rossii (Soil information in the analytical center of the Ministry of Agriculture of Russia), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, Vol. 92, pp. 3–15, DOI: 10.19047/0136-1694-2018-92-3-15.
 20. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Uvarov I. A., Loupian E. A., Tekushchie vozmozhnosti i opyt ispol'zovaniya informatsionnoi sistemy See the Sea dlya izucheniya i monitoringa yavlenii i protsessov na morskoi poverkhnosti (Current capabilities and experience of using the See the Sea information system for studying and monitoring phenomena and processes on the sea surface), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 266–287.
 21. Loupian E. A., Savorskiy V. P., Bazovye produkty obrabotki dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli (Basic products of Earth Remote Sensing Data Processing), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 87–97.
 22. 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), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2004, No. 1, pp. 81–89.
 23. Loupian E. A., Mazurov A. A., Nazirov R. R., Proshin A. A., Flitman E. V., Krashennnikova Yu. S., Tekhnologii postroeniya informatsionnykh sistem distantsionnogo monitoringa (Technologies for Building Remote Monitoring Information Systems), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 26–43.
 24. Loupian E. A., Ershov D. V., Bartalev S. A., Isaev A. S., Informatsionnaya sistema distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov i ikh posledstviy: rezul'taty poslednego desyatiletia i perspektivy (Information System for Remote Monitoring of Forest Fires and Their Consequences: The Results of the Last Decade and Further Prospects), *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii i lesnom khozyaistve* (Aerospace Method and GIS-Technologies in Forestry and Forest Management), Proc. 5th All-Russia Conf. Dedicated to the Memory of V. I. Sukhikh and G. N. Korovin, Moscow, April 22–24, 2013, Moscow: CEPL RAS, 2013, pp. 40–43.
 25. Loupian E. A., Bartalev S. A., Tolpin V. A., Zharko V. O., Krashennnikova Yu. S., Oksyukevich A. Yu. (2014a), Ispol'zovanie sputnikovogo servisa VEGA v regional'nykh sistemakh distantsionnogo monitoringa (VEGA satellite service applications in regional remote monitoring systems), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 3, pp. 215–232.
 26. Loupian E. A., Milekhin O. E., Antonov V. N., Kramareva L. S., Burtsev M. A., Balashov I. V., Tolpin V. A., Solov'ev V. I. (2014b), Sistema raboty s ob"edinennymi informatsionnymi resursami, poluchaemymi na osnove sputnikovykh dannykh v tsentrakh NITs "PLANETA" (System of operation of joint information resources based on satellite data in the Planeta Research Centers for Space Hydrometeorology), *Meteorologiya i gidrologiya*, 2014, No. 12, pp. 89–97.
 27. Loupian E. A., Balashov I. V., Burtsev M. A., Efremov V. Yu., Kashnitsky A. V., Kobets D. A., Krashennnikova Yu. S., Mazurov A. A., Nazirov R. R., Proshin A. A., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Flitman E. V. (2015a), Sozdanie tekhnologii postroeniya informatsionnykh sistem distantsionnogo monitoringa (Development of information systems design technologies), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 53–75.
 28. Loupian E. A., Bartalev S. A., Ershov D. V., Kotel'nikov R. V., Balashov I. V., Burtsev M. A., Egorov V. A., Efremov V. Yu., Zharko V. O., Kovganko K. A., Kolbudaev P. A., Krashennnikova Yu. S., Proshin A. A., Mazurov A. A., Uvarov I. A., Stytsenko F. V., Sychugov I. G., Flitman E. V., Khvostikov S. A., Shulyak P. P. (2015b), Organizatsiya raboty so sputnikovymi dannymi v informatsionnoi sisteme distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaistva (ISDM-Rosleskhoz) (Satellite data processing management in Forest Fires Remote Monitoring Information System (ISDM-Rosleskhoz) of the Federal Agency for Forestry), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 222–250.

29. 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. (2015c), Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei 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.
30. 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.
31. Mamaev A. S., Proshin A. A., Flitman E. V., Sozdanie sistemy dokumentirovaniya i kontrolya raspredelennykh informatsionnykh sistem (Development of documentation and monitoring system for the distributed information systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2008, Issue 5, Vol. 2, pp. 557–560.
32. Proshin A. A., Loupian E. A., Balashov I. V., Kashnitskiy A. V., Burtsev M. A., Sozdanie unifikirovannoi sistemy vedeniya arkhivov sputnikovykh dannykh, prednaznachenoj 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.
33. Sorokin A. A., Korolev S. P., Girina O. A., Balashov I. V., Efremov V. Yu., Romanova I. M., Integrirovannaya programmnyaya platforma dlya kompleksnogo analiza rasprostraneniya peplovykh shleifov pri eksplozivnykh izverzheniyakh vulkanov Kamchatki (The integrated software platform for a comprehensive analysis of ash plume propagation from explosive eruptions of Kamchatka volcanoes), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 4, pp. 9–19, DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-4-9-19.
34. 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 dannyimi 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.
35. 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.
36. Tolpin V. A., Bartalev S. A., Elkina E. S., Kashnitskiy A. V., Konstantinova A. M., Loupian E. A., Marchenkov V. V., Plotnikov D. E., Patil V. C., Sunil J. K., Informatsionnaya sistema VEGA-GEOGLAM — instrument razrabotki metodov i podkhodov ispol'zovaniya dannykh sputnikovogo distantsionnogo zondirovaniya v interesakh resheniya zadach global'nogo sel'skokhozyaistvennogo monitoringa (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), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 183–197.
37. Tokhiyan O. O., Koshkin K. V., Opyt razrabotki i ekspluatatsii geoportala Roskosmosa (The Roscosmos Geoportal development and operation experience), *Geomatika*, 2011, No. 2, pp. 20–28.
38. Tokhiyan O. O., Vasil'ev A. Yu., Gladkov A. P., Rasshirenie vozmozhnostei servisov Geoportala Roskosmosa (Capability enhancement of the Roscosmos Geoportal), *Geomatika*, 2015, No. 2, pp. 22–25.
39. 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., Krashennnikova 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.
40. Uvarov I. A., Loupian E. A., Matveev A. M., Mazurov A. A., Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Organizatsiya raboty s dannyimi sputnikovykh giperspektral'nykh nablyudenii dlya issledovaniya protsessov v Mirovom okeane (Management of hyperspectral remote sensing data for studies of world ocean processes), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 1, pp. 200–212.
41. Khvostikov S. A., Balashov I. V., Bartalev S. A., Efremov V. Yu., Loupian E. A., Regional'naya optimizatsiya parametrov prognoznoi modeli prirodnykh pozharov i operativnoe modelirovanie dinamiki ikh razvitiya s ispol'zovaniem dannykh sputnikovykh nablyudenii (Regional scale optimization of wildfire model parameters

- and modeling of wildfire dynamic using remote sensing data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 3, pp. 91–100.
42. Bartalev S. A., Loupian E. A., Tolpin V. A., Elkina E. S., Web-based Earth Observation data analysis system VEGA — GEOGLAM in support of global agricultural monitoring research and developments, *Geoinformatics Research Papers*, 2017, Vol. 5, BS1002, pp. 166, DOI: 10.2205/CODATA2017.
 43. Moss L. T., Atre S., *Business intelligence roadmap: the complete project lifecycle for decision-support applications*, Addison-Wesley Professional, 2003, 576 p.
 44. *Satellites to be built & launched by 2026: World Market Survey*, Euroconsult, 2017, available at: <http://www.euroconsult-ec.com/research/satellites-built-launched-by-2026-brochure.pdf>.
 45. Waldner F., Schucknecht A., Lesiv M., Gallego J., See L., Pérez-Hoyos A., d'Andrimont R., de Maet T., Laso Bayas J. C., Fritz S., Leo O., Kerdiles H., Díez M., Van Tricht K., Gilliams S., Shelestov A., Lavreniuk M., Simões M., Ferraz R., Bellón B., Bégué A., Hazeu G., Stonacek V., Kolomaznik J., Misurec J., Veron S. R., De Abelleira D., Plotnikov D. E., Mingyong L., Singha M., Patil P., Zhang Y., Defourny P., Conflation of expert and crowd reference data to validate global binary thematic maps, *Remote Sensing of Environment*, 2019, Vol. 221, pp. 235–246, DOI: 10.1016/j.rse.2018.10.039.
 46. Zhu L., Suomalainen J., Liu J., Hyypä J., Kaartinen H., Haggren H. A., Review: Remote Sensing Sensors, In: *Multi-purposeful Application of Geospatial Data*, Rustamov R. B., Hasanova S., Zeynalova M. H. (eds.), IntechOpen, 2018, DOI: 10.5772/intechopen.71049, available at: <https://www.intechopen.com/books/multi-purposeful-application-of-geospatial-data/a-review-remote-sensing-sensors>.