

## Развитие подходов к построению информационных систем дистанционного мониторинга

Е. А. Лупян, М. А. Бурцев, А. А. Прошин, Д. А. Кобец

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

Предлагаемая статья посвящена анализу изменений подходов к построению и развитию информационных систем дистанционного мониторинга (СДМ), которые происходили в последние десятилетия по мере развития систем ДЗЗ и технологий работы с ними. Рассматриваются основные стадии эволюции таких подходов, обусловленной в первую очередь необходимостью организации эффективной работы со сверхбольшими, постоянно растущими объёмами информации, поступающими в настоящее время от систем ДЗЗ. В статье показано, что в последние годы наблюдается постепенный переход от ситуации, когда при построении систем дистанционного мониторинга фактически создавалась вся программно-аппаратная инфраструктура, которая необходима для работы со спутниковой информацией, используемой конкретной системой, к ситуации, когда при построении конкретной СДМ максимально используются возможности многофункциональных центров приёма, архивации, обработки и распространения данных ДЗЗ. Это позволяет значительно сократить как время создания специализированных СДМ, так и стоимость их разработки и эксплуатации. Приводятся примеры систем, которые были созданы по такому принципу с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг». В работе также обсуждаются тенденции развития подходов к построению и поддержке современных информационных систем дистанционного мониторинга и отмечается, что для обеспечения возможности эффективной разработки и поддержки таких систем целесообразно создание специализированной информационной среды. Такая среда могла бы позволить эффективно решать задачи, стоящие перед разработчиками СДМ, предоставляя им, в частности: удобные и стандартизированные сервисы доступа к данным, сервисы обработки и анализа данных, вычислительные ресурсы для размещения элементов СДМ, средства для разработки СДМ, в том числе средства управления распределёнными СДМ.

**Ключевые слова:** информационные системы дистанционного мониторинга, спутниковые системы наблюдения Земли, системы мониторинга, технологии автоматизированной обработки данных, данные дистанционного зондирования, распределённые информационные системы, сверхбольшие архивы данных

Одобрена к печати: 08.06.2018  
DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-53-66

### Введение

Развитие информационных систем дистанционного мониторинга (СДМ), т. е. систем, ориентированных на обеспечение наблюдения, анализа и прогнозирования динамики различных процессов и явлений, в последние годы во многом определяется следующими основными факторами:

- рост количественных и качественных характеристик систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и, как следствие, взрывной рост количества информации, получаемой, обрабатываемой и используемой в СДМ;
- развитие различных информационных технологий, в том числе технологий хранения, обработки и распределённой работы с данными.

По состоянию на начало 2018 г. на орбите Земли действовало более 420 (по данным <http://database.eohandbook.com>) космических аппаратов ДЗЗ, данные нескольких десятков из которых являются общедоступными. По мнению авторов, настоящим прорывом в развитии средств ДЗЗ стал запуск и ввод в эксплуатацию полной группировки компании PlanetLabs

(<https://www.planet.com>), в которую входит около 200 микроспутников (по данным NORAD). Есть все основания полагать, что и в ближайшие годы, с учётом падения стоимости создания спутников на основе в большой степени готовых решений и стандартизированных платформ типа Cubesat, будут созданы и другие крупные спутниковые группировки. Так, по оценкам Euroconsult, к 2026 г. на орбите будет действовать более 1000 систем ДЗЗ (Satellites..., 2017). Всё это приводит к взрывному росту объёма данных, поступающих от систем ДЗЗ, что подтверждает сделанные несколько лет назад прогнозы ESA (Albani, 2012) о фактически экспоненциальном росте в ближайшие годы объёмов архивов спутниковых данных и получаемых на их основе различных информационных продуктов (рис. 1). Точность этих прогнозов доказывается примерами динамики увеличения различных архивов спутниковых данных, которые приведены на рис. 2 и 3 (см. с. 55).

Evolution of ESA's EO Data Archives between 1986–2010 and future Projections

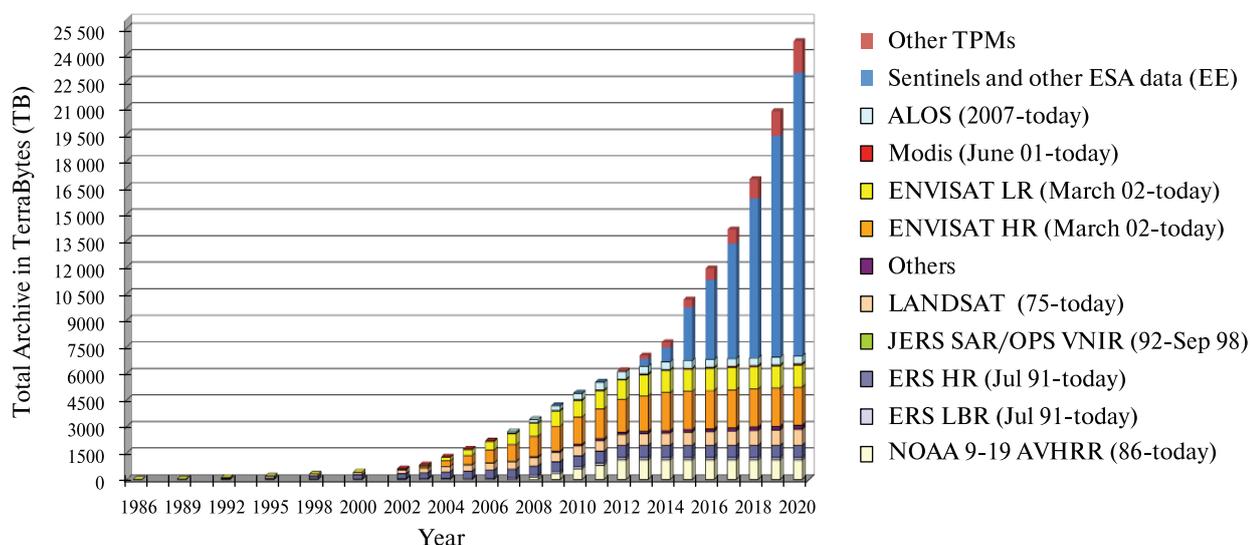


Рис. 1. Прогнозируемые темпы роста архивов данных ESA (Albani, 2012)

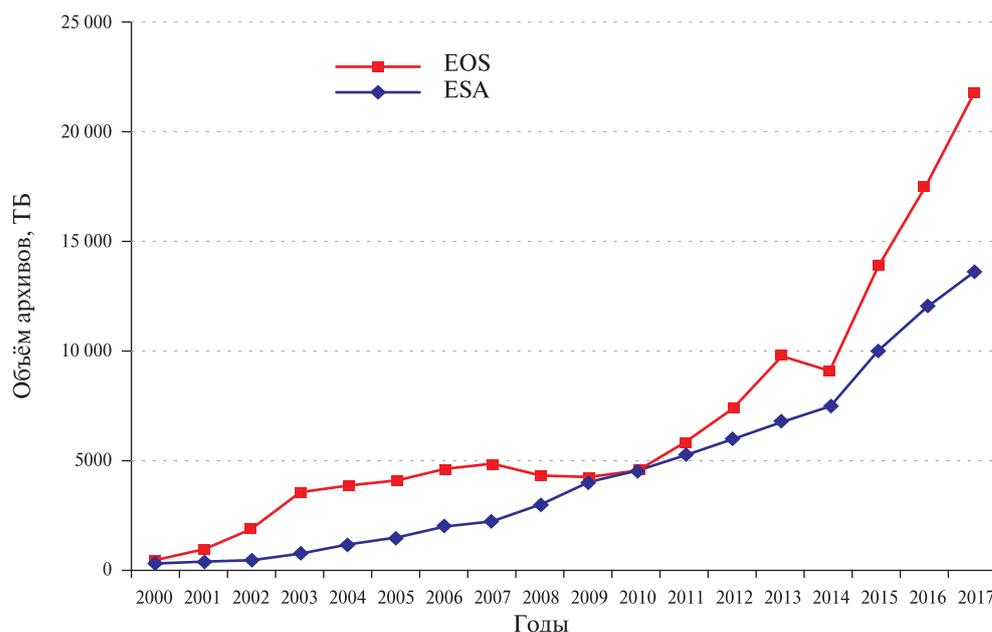


Рис. 2. Темпы роста архивов ESA (по данным (Albani, 2012)), EOS (по данным <https://earthdata.nasa.gov/eosdis-cumulus-project>)

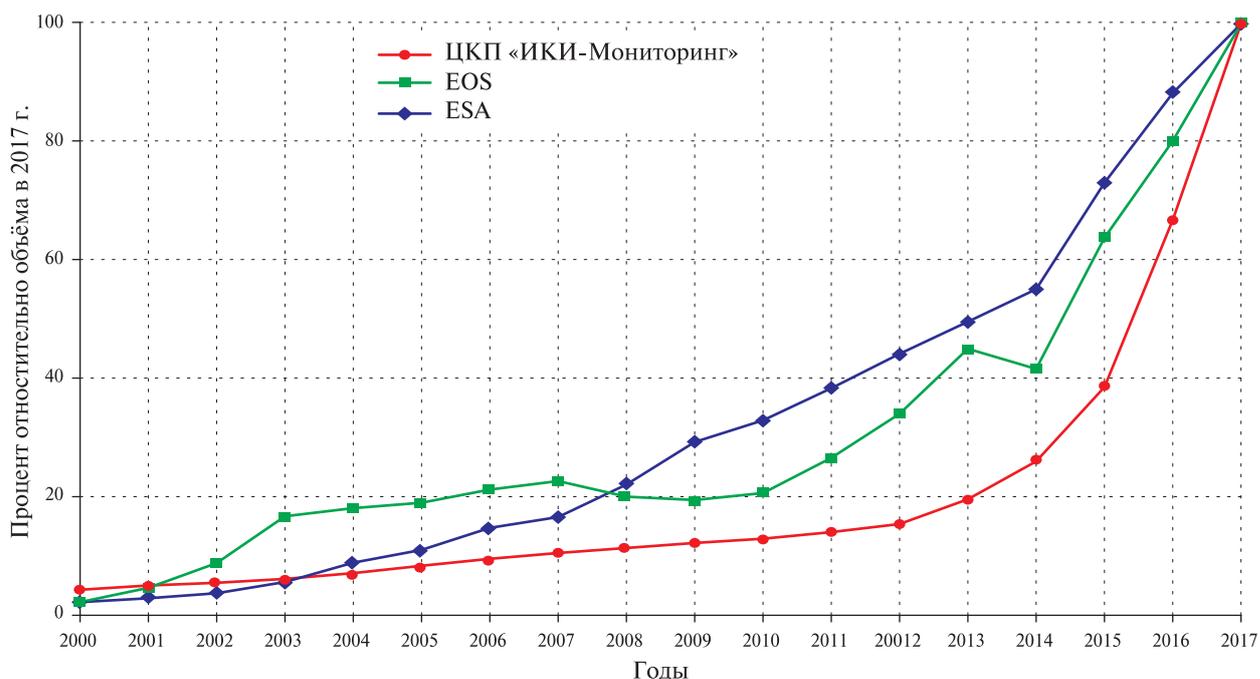


Рис. 3. Относительные темпы роста архивов ESA, EOS и ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (нормированные на объём архивов в 2017 г.)

Отметим также, что в последние десятилетия существенно повысилось и качество данных, получаемых от современных систем ДЗЗ, которые в основном уже превратились из наблюдательных систем в измерительные. Это позволило существенно расширить круг применения технологий дистанционного зондирования, что, в свою очередь, привело к увеличению числа создающихся и использующихся СДМ и потребовало создания специальных технологий, которые могут обеспечить их эффективную разработку и поддержку (Лупян и др., 2004, 2011, 2012б, 2015а; Прошин и др., 2016). Следует отметить, что развитие различных информационных технологий и технической инфраструктуры позволило достаточно быстро развивать подходы к построению современных СДМ. В настоящей работе анализируются основные этапы развития таких подходов и оцениваются направления их развития.

### Основные стадии развития СДМ

В настоящее время сложилась устойчивая общая схема организации работы со спутниковыми данными в различных системах дистанционного мониторинга, которая представлена на рис. 3. Отдельные элементы таких СДМ, показанные на схеме, и их функции подробно рассматривались во многих работах, в том числе в (Лупян и др., 2015а).

Важно отметить, что если в наборе основных блоков в последние годы не происходит значительных изменений, то их функциональность, технологии построения и подходы к реализации достаточно быстро развиваются. Это связано как с развитием систем ДЗЗ и технологий работы с поступающими от них данными, так и с расширением задач, решаемых СДМ, и требований к ним. При этом, как уже отмечалось, современные СДМ должны обеспечивать работу с постоянно растущим объёмом данных. Всё это приводит к необходимости использовать мощные и дорогостоящие вычислительные и телекоммуникационные ресурсы (в том числе системы приёма и обработки спутниковых данных) при реализации различных блоков СДМ. Таким образом, если бы развитие СДМ шло по пути, когда для каждой системы необходимо разрабатывать свою техническую инфраструктуру, стоимость их создания и поддержки постоянно и быстро росла бы. Это, безусловно, сильно сдерживало бы как развитие, так и внедрение технологий дистанционного мониторинга.



Рис. 4. Обобщённая схема организации работы со спутниковыми данными в СДМ

В то же время развитие информационных технологий, в первую очередь технологий распределённой работы с данными, в последнее десятилетие позволило активно использовать различные технические ресурсы при построении СДМ, которые являются «внешними» для конкретной информационной системы дистанционного мониторинга. Это во многих случаях позволило существенно сократить стоимость и время создания конкретных СДМ. Развитие и использование таких подходов происходило в несколько стадий, из которых условно можно выделить пять основных, на рассмотрении особенностей которых мы остановимся ниже. На схеме, показанной на рис. 4, различными цветами представлены блоки СДМ, для реализации которых на разных стадиях развития подходов к построению СДМ начинали использоваться «внешние» технические ресурсы или же сами блоки фактически становились «внешними» для конкретной системы дистанционного мониторинга. Чёрным пунктиром выделены компоненты СДМ, входящие в состав центров приёма, обработки, архивации и распространения на стадиях с 1 по 4. Красным пунктиром выделены компоненты СДМ, входящие в состав центров приёма, обработки, архивации и распространения на стадии 5.

Основные стадии развития подходов к построению систем дистанционного мониторинга:

**Стадия 1.** На этой стадии для создания конкретной СДМ физически строилась вся техническая инфраструктура работы с данными, начиная с центров приёма и обработки спутниковых данных и заканчивая центрами архивации и распространения спутниковой информации и результатов её обработки. Таким образом, требовались значительные капиталовложения и временные затраты для разработки специализированных систем дистанционного мониторинга. Кроме того, по мере появления новых КА ДЗЗ для обеспечения работы с поступающими с них данными в конкретной СДМ требовалось проведение дооснащения центров, поддерживающих систему. Как уже отмечалось, подобная схема построения СДМ ведёт к тому, что поддержка функционирования системы также становится дорогостоящей, поскольку необходимо создавать и поддерживать всю техническую инфраструктуру работы с данными. Это особенно сказывается в тех случаях, когда необходимо осуществлять оперативный мониторинг значительных территорий, поскольку требуется поддержка не одного, а нескольких центров приёма и обработки данных. На основе такого подхода в России изначально строились информационные системы спутникового мониторинга Росгидромета

(Бурцев и др., 2011, 2012; Лупян др., 2014) и информационная система спутникового мониторинга чрезвычайных ситуаций МЧС (Акимов и др., 2016).

*Стадия 2.* На данной стадии стало понятно, что во многих случаях нет необходимости создавать в интересах конкретной СДМ специализированные центры приёма и обработки спутниковых данных. В то же время появилась возможность использовать ресурсы уже существующих крупных многофункциональных центров приёма, что позволило значительно снизить начальные капиталовложения и время для создания специализированных систем дистанционного мониторинга. При этом отпала необходимость проводить дорогостоящую техническую доработку и дооснащение приёмной инфраструктуры СДМ по мере появления новых систем ДЗЗ. В то же время на данной стадии центры приёма могли обеспечить предоставление преимущественно исходной, фактически полусырой информации в системы обработки СДМ. Поэтому в рамках конкретной СДМ приходилось создавать всю цепочку обработки данных, и СДМ должна была размещать свои ресурсы на территории центров приёма, для того чтобы избежать необходимости перекачки значительных объёмов исходных спутниковых данных. Кроме того, в центрах приходилось размещать вычислительные ресурсы СДМ для решения задач специальной (тематической) обработки данных и обеспечения доступа к этим данным пользователей конкретной системы. Подобная схема построения также требовала существенных начальных затрат и достаточно сложной технологии поддержки и управления СДМ, в том числе создания и поддержки территориально распределённых узлов СДМ в различных центрах приёма и обработки данных. Изначально на основе такой схемы создавалась, например, Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) (Барталев и др., 2010; Лупян и др., 2013, 2015б; <https://aviales.ru>). В то же время отсутствие необходимости создания собственных центров приёма позволило запустить первую версию системы в промышленную эксплуатацию менее чем через год с начала работ по её созданию, что было бы невозможно при развитии по сценарию первой стадии.

*Стадия 3.* Существенным отличием этой стадии стало то, что многие центры приёма создали у себя полностью автоматизированные системы первичной обработки данных, позволяющие формировать базовые информационные продукты (Лупян, Саворский, 2012; Interoperable..., 2005), которые необходимы для проведения специальной тематической обработки данных в интересах специализированных СДМ. Стало возможным снять с СДМ задачи первичной обработки данных и сосредоточить внимание только на решении задач тематической обработки при их создании. Это, в свою очередь, дало возможность ещё более существенно сократить начальные капиталовложения и время создания специализированных систем дистанционного мониторинга. В то же время на данной стадии оставалась необходимость размещать в центрах вычислительные ресурсы СДМ для решения задач специальной (тематической) обработки данных и обеспечения доступа к ним пользователей конкретных систем. Подобная схема построения СДМ упростила как начальный этап создания специализированных СДМ и их эксплуатацию, так и этапы развития СДМ, связанные с включением в них информации, поступающей от новых КА ДЗЗ (отпала необходимость создания, постоянной модификации и поддержки процедур первичной обработки данных для каждого конкретного вида спутниковой информации, используемой в системе). По подобной схеме изначально строилась, например, система мониторинга вулканической активности Камчатки и Северных Курил (система VolSatView) (Гордеев и др., 2015, 2016), (<http://kamchatka.volcanoes.smislab.ru>); на неё также постепенно была переведена ИСДМ-Рослесхоз.

*Стадия 4.* Существенным шагом на данной стадии стало то, что центры приёма начали предоставлять не только возможности получения данных, но и вычислительные ресурсы для размещения специальных процедур работы с данными в интересах СДМ и сервисов по оперативному представлению различных тематических продуктов. Также в ряде случаев центры реализовывали на своей базе процедуры обработки данных для получения специализированных информационных продуктов, необходимых конкретным СДМ, и стали предоставлять системам сервисы по получению таких продуктов. При этом продукты могли как физически (потоково) передаваться в СДМ, так и предоставляться по запросам пользователей конкретных

систем в режиме онлайн. Во втором случае в конкретной системе отпадает необходимость создания технологического контура работы с данными для построения отдельных специализированных продуктов, кроме организации возможностей работы с ними в интерфейсах системы. Это в конечном итоге позволяет конкретной СДМ ориентироваться на получение уже готовых продуктов достаточно высокого уровня обработки, т.е. фактически выполнять работы по обработке спутниковых данных для получения специализированных продуктов на внешних ресурсах, что во многих случаях может быть более предпочтительно (в первую очередь из-за возможности использования высококвалифицированных коллективов для организации работ по развитию и поддержке систем обработки спутниковых данных, которые могут выбираться в том числе на конкурсной основе). На основе подобной схемы в настоящее время организована, например, работа со спутниковыми данными в ИСДМ-Рослесхоз и в системе комплексного мониторинга лесных ресурсов Приморского края (система «Вега-Приморье», <http://primorsky.geosmis.ru/>) (Лупян и др., 2016). Таким образом, мы видим, что уже на данной стадии при создании конкретных СДМ нет необходимости поддерживать дорогостоящую техническую инфраструктуру работы со спутниковыми данными, стоимость которой во многих случаях может являться основной частью стоимости создания и поддержки СДМ при её развитии по «традиционной» схеме (стадия 1).

*Стадия 5.* Фактически это перспективная стадия развития технологий и подходов создания и эксплуатации СДМ. Она основана на том, что современные информационные технологии позволяют эффективно поддерживать сложные распределённые информационные системы с использованием технической инфраструктуры, предоставляемой различными дата-центрами. При этом такие ресурсы могут предоставляться и с использованием облачных технологий (Gorelick et al., 2017; Lee et al., 2011; Wang et al., 2018), что позволяет, в частности, выделять те или иные вычислительные ресурсы по мере того, как они становятся необходимы конкретному пользователю (в нашем случае — информационной системе дистанционного мониторинга). Такой подход позволяет принципиально снизить начальные капиталовложения и время создания информационных систем, а также существенно повышает устойчивость их работы и простоту поддержки и развития. Создание и поддержка СДМ также может идти по такому пути, т.е. фактически создаваться и эксплуатироваться на основе использования уже имеющихся ресурсов, которые могут предоставляться создаваемой системе как сервисы. В перспективе при таком подходе в интересах конкретных СДМ необходимо лишь создавать специализированные процедуры и интерфейсы работы с данными, которые могут функционировать, используя не принадлежащие СДМ информационные (сервисы представления данных) и вычислительные ресурсы, получая их в аренду или подписываясь на них. Это в конечном итоге должно позволить принципиально сократить расходы на создание СДМ и позволить оптимизировать расходы на их эксплуатацию. В то же время следует иметь в виду и специфику СДМ, которая в первую очередь определяется необходимостью работы с большими объёмами постоянно поступающих спутниковых данных, а также со сверхбольшими распределёнными архивами данных ДЗЗ и результатов их обработки. То есть для того, чтобы обеспечить эффективность создания и поддержки СДМ, необходимо не только получить необходимые вычислительные ресурсы, но и сервисы по доступу к различным данным ДЗЗ и к информации, получаемой на основе данных ДЗЗ. Кроме того, следует иметь в виду, что в настоящее время достаточно быстро развиваются технологии, позволяющие пользователям получать не только удалённый доступ к такой информации, но и возможность проводить её обработку с использованием распределённых вычислительных ресурсов (Кашницкий и др., 2015, 2016). Появляющиеся возможности также могут предоставляться СДМ как сервисы.

Таким образом, значительное число функций современных СДМ может быть реализовано на основе сервисов, которые уже сегодня предоставляются различными центрами обработки, архивации и представления спутниковых данных, а именно:

- сервисы представления доступа к оперативным и историческим архивам спутниковых данных и результатов их обработки (в том числе online-сервисы, позволяющие интегрировать различные информационные продукты в интерфейсы работы с данными различных СДМ);

- сервисы обработки данных (в том числе online-сервисы, позволяющие интегрировать в СДМ различные процедуры распределённой обработки данных);
- сервисы по предоставлению вычислительных ресурсов для реализации различных блоков, входящих в состав СДМ.

### **Возможности развития центров, обеспечивающих предоставление сервисов, необходимых для создания и поддержки современных СДМ**

Опыт развития систем приёма (сбора), архивации, обработки и распространения данных ДЗЗ показывает, что сегодня только крупные центры (в том числе распределённые), выполняющие большое число работ в области создания и развития методов, технологий и систем дистанционного мониторинга, имеют возможность обеспечивать комплексное предоставление обсуждаемых выше сервисов. Это связано, прежде всего, с тем, что подобные центры должны обладать развитой технической инфраструктурой, способной поддерживать работу со сверхбольшими архивами спутниковых данных. В настоящее время действует достаточно ограниченное число подобных центров, и маловероятно, что в дальнейшем их число будет расти. Скорее в перспективе можно ожидать их объединения или консолидации. В нашей стране на сегодняшний день к таким центрам, которые могут оказывать весь спектр обсуждаемых сервисов, можно отнести лишь центры НИЦ «Планета» (Бурцев и др., 2012; Лупян и др., 2014) и Центр коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015в) (<http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=357>). Отдельные сервисы (например, сервисы доступа к различным информационным продуктам) на данный момент могут предоставлять и другие центры приёма и обработки данных, и специализированные СДМ.

Следует отметить, что уже сегодня имеется положительный опыт создания и эксплуатации различных СДМ на основе подходов, соответствующих стадии 5. К таким системам, в частности, относятся текущие версии следующих СДМ:

- Система дистанционного мониторинга Sea The Sea (Лупян и др., 2012а; <http://ocean.smislab.ru>). Ориентирована на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных задач исследования Мирового океана. Особое внимание в системе уделяется возможностям работы с данными спутниковой радиолокации (в основном с данными, получаемыми со спутников серии Sentinel-1). Система призвана обеспечить возможность одновременной работы с различными видами спутниковой информации и удобный инструментарий, позволяющий проводить её комплексный анализ специалистам, работающим в области исследования Мирового океана.
- Система дистанционного мониторинга Vega-Geoglam (Толпин и др., 2015; <http://vega.geoglam.ru/>). Ориентирована на поддержку работ по развитию методов и технологий спутникового мониторинга сельского хозяйства для создания системы глобального мониторинга сельского хозяйства GEOGLAM (<http://geoglam.org>). Разрабатывалась в рамках проекта SIGMA ([https://twitter.com/SIGMA\\_GEOGLAM](https://twitter.com/SIGMA_GEOGLAM)). Основная задача системы — предоставление инструментов анализа данных наблюдений за земной поверхностью, результатов их обработки и другой соответствующей информации, в частности, для тестовых участков сети SIGMA-JECAM, предназначенных для проведения исследований и разработок в области дистанционного сельскохозяйственного мониторинга.
- Система дистанционного мониторинга «Vega-Приморье» (Лупян и др., 2016; <http://primorsky.geosmis.ru/>). Разработана и поддерживается АНО «Общество дикой природы», ООО «ИКИЗ» и ИКИ РАН в качестве пилотного проекта по организации комплексного космического мониторинга лесов Приморского края.

Все эти системы в настоящее время не имеют своей технической инфраструктуры и архивов спутниковых данных. Созданные в интересах систем специализированные интерфейсы и блоки анализа данных реализованы на технических ресурсах ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

Это позволило разработчикам сосредоточиться на решении только специфических задач, стоящих перед системами. На этапе их эксплуатации также не требуется специальной дорогостоящей поддержки технической инфраструктуры работы со спутниковыми данными. Опыт реализации данных систем показал, что методы, которые предлагается использовать на пятой стадии развития подходов к построению систем дистанционного мониторинга, работоспособны и обеспечивают возможность решения задач разной тематической направленности с использованием единой технической и информационной инфраструктуры ЦКП «ИКИ-Мониторинг». Это позволяет создавать СДМ в достаточно короткие сроки, эффективно поддерживать и постоянно развивать. Следует особо отметить, что по мере появления в центре, предоставляющем сервисы СДМ, новых возможностей (например, новых типов данных и/или функций их анализа), эти возможности с минимальными затратами появляются и у специализированных систем мониторинга.

Отметим также, что развиваемые в рамках обсуждаемых подходов СДМ автоматически получают технические возможности работы не только с ресурсами ЦКП «ИКИ-Мониторинг», который предоставляет им различные сервисы, но и с ресурсами центров и систем, с которыми у ЦКП имеются схемы сервисного взаимодействия. Такие возможности в настоящее время реализованы для Объединённой системы работы с данными НИЦ «Планета» (Бурцев и др., 2012; Лупян и др., 2014), Геопортала Роскосмоса (Тохиян, Кошкин, 2011; Тохиян и др., 2015), ИСДМ-Рослесхоз и др.

### **Основные направления развития подходов и технологий построения систем дистанционного мониторинга**

Таким образом, мы видим, что в настоящее время существуют технические возможности для начала активного использования подходов стадии 5 создания и поддержки информационных систем дистанционного мониторинга, на которой технической основой развития специализированных СДМ становится уже действующая инфраструктура крупных центров сбора, обработки и распространения спутниковых данных. В России такие центры создаются и развиваются Росгидрометом (НИЦ «Планета»), Роскосмосом (НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы») и Министерством науки и высшего образования (ИКИ РАН). Эти центры развиваются в том числе при поддержке Федеральной космической программы (проекты развития Единой территориально-распределённой сети работы с данными ДЗЗ (ЕТРИС ДЗЗ) (Носенко, Лошкарев, 2010). Такие центры обеспечивают первичную и стандартную обработку поступающих в них данных; большинство из них уже сегодня предоставляют широкий спектр сервисов не только для распределённого доступа к данным, но и для проведения их анализа и обработки. Также эти центры могут предлагать возможности размещения элементов создаваемых СДМ на своей территории, в том числе и на предоставляемых центрами вычислительных ресурсах.

Опыт последнего десятилетия показал, что с увеличением роста объёмов доступных спутниковых данных и развитием технологий, позволяющих распределённую работу с ними, следует ожидать, что всё больше действующих и вновь создаваемых СДМ будут развиваться на основе подходов стадии 5. Поэтому у крупных центров будут, безусловно, расширяться возможности по предоставлению услуг, востребованных организациями, осуществляющими разработку и поддержку СДМ. Исходя из этого, можно сделать вывод, что одним из наиболее актуальных направлений развития таких центров будет создание в их рамках специализированных информационных сред, позволяющих комплексно решать задачи разработки и поддержки СДМ, включая задачи интеграции в них различных информационных ресурсов, в том числе и предоставляемых самими системами дистанционного мониторинга. Эти среды должны предоставлять разработчикам СДМ:

- удобные и стандартизированные сервисы доступа к данным и результатам их обработки, включая сервисы доступа к различным информационным продуктам различных информационных систем;

- сервисы обработки данных (возможность заказа и анализа различных стандартизированных информационных продуктов непосредственно в интерфейсах СДМ);
- сервисы анализа данных (инструменты анализа, которые могут быть интегрированы в СДМ);
- вычислительные ресурсы для размещения элементов СДМ, в том числе и динамически выделяемые;
- средства для разработки элементов СДМ, в том числе:
  - для ведения архивов данных;
  - создания различных интерфейсов работы с данными;
  - разработки процедур распределённой обработки данных;
  - разработки различных блоков предоставления сервисов, которые в дальнейшем будут представлять сами СДМ;
  - создания блоков удалённого контроля и управления элементами СДМ (в том числе распределёнными).

Следует также отметить, что эффективность и привлекательность таких сред будет повышаться, если они обеспечат возможность online-работы разработчиков СДМ не только с отдельным центром, но и ресурсами, предоставляемыми группами центров. Это может быть обеспечено либо путём реализации одной технологической среды в различных центрах, либо созданием и внедрением стандартов взаимодействия различных сред. В нашей стране эти задачи могут быть, в частности, решены в рамках работ по созданию и развитию ЕТРИС ДЗЗ.

Работа выполнена с использованием опыта создания и развития ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (ведётся в рамках темы «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164) и объединённой системы работы с данными центров НИЦ «Планета» (ведутся в рамках проектов по созданию и развитию ЕТРИС ДЗЗ). Анализ различных стадий развития подходов по созданию и развитию СДМ и перспектив их развития выполнены в рамках проекта РФФИ (№ 15-29-07953 офи\_м).

## Литература

1. *Акимов В. А., Краминцев А. П., Курбатов М. Ю., Ротару А. Н., Савельев М. И., Алексеенко Я. В., Епихин А. В., Карташев В. И., Кудинов А. А., Леденцов С. А., Шабуневич А. В., Шабуневич В. И.* Наземно-космический мониторинг чрезвычайных ситуаций. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. 128 с.
2. *Барталев С. А., Ершов Д. В., Коровин Г. Н., Котельников Р. В., Лупян Е. А., Щетинский В. Е.* Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 2. С. 97–105.
3. *Бурцев М. А., Ефремов В. Ю., Балашов И. В., Мазуров А. А., Прошин А. А., Лупян Е. А., Милехин О. Е.* Система доступа к данным Европейского, Западно-Сибирского и Дальневосточного центров приема Росгидромета // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 113–119.
4. *Бурцев М. А., Антонов В. Н., Ефремов В. Ю., Кашицкий А. В., Крамарева Л. С., Лупян Е. А., Мазуров А. А., Матвеев А. М., Милехин О. Е., Прошин А. А., Соловьев В. И.* Система работы с распределёнными архивами результатов обработки спутниковых данных центров приема НИЦ «Планета» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 55–76.
5. *Гордеев Е. И., Гирина О. А., Лупян Е. А., Кашицкий А. В., Уваров И. А., Ефремов В. Ю., Мельников Д. В., Маневич А. Г., Сорокин А. А., Верхотуров А. Л., Романова И. М., Крамарева Л. С., Королев С. П.* Изучение продуктов извержений вулканов Камчатки с помощью гиперспектральных спутниковых данных в информационной системе VolSatView // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 113–128
6. *Гордеев Е. И., Гирина О. А., Лупян Е. А., Сорокин А. А., Крамарева Л. С., Ефремов В. Ю., Кашицкий А. В., Уваров И. А., Бурцев М. А., Романова И. М., Мельников Д. В., Маневич А. Г., Королев С. П.,*

- Верхотуров А. Л. Информационная система VolSatVIEW для решения задач мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил // Вулканология и сейсмология. 2016. № 6. С. 62–77. DOI: 10.7868/S0203030616060043.
7. Кашицкий 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.
  8. Кашицкий 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.
  9. 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.
  10. 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.
  11. 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.
  12. Лупян Е. А., Матвеев А. М., Уваров И. А., Бочарова Т. Ю., Лаврова О. Ю., Митягина М. И. (2012а) Спутниковый сервис See the Sea — инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 251–262.
  13. Лупян Е. А., Саворский В. П., Шокин Ю. И., Алексанин А. И., Назиров Р. Р., Недолужко И. В., Панова О. Ю. (2012б) Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования Земли для решения научных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 21–44.
  14. 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: доклады 5-й Всерос. конф., посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов В. И. Сухих и Г. Н. Коровина. Москва, 22–24 апреля 2013. М.: ЦЭПЛ РАН, 2013. С. 40–43.
  15. Лупян Е. А., Милехин О. Е., Антонов В. Н., Крамарева Л. С., Бурцев М. А., Балашов И. В., Толпин В. А., Соловьев В. И. Система работы с объединенными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ «Планета» // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 89–97.
  16. 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.
  17. 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., Стыценко 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.
  18. 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.
  19. Лупян Е. А., Барталев С. А., Балашов И. В., Барталев С. С., Бурцев М. А., Егоров В. А., Ефремов В. Ю., Жарко В. О., Кашицкий А. В., Колбудаев П. А., Крамарева Л. С., Мазуров А. А., Оксюкевич А. Ю., Плотников Д. Е., Прошин А. А., Сенько К. С., Уваров И. А., Хвостиков С. А., Ховратович Т. С. Информационная система комплексного дистанционного мониторинга лесов «Вега-Приморье»

- // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 11–28. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-11-28.
20. Носенко Ю. И., Лошкарев П. А. Единая территориально-распределенная информационная система ДЗЗ — проблемы, решения, перспективы (часть 1) // Геоматика. 2010. № 3. С. 35–43.
  21. 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.
  22. Толпин В. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Ладонина Н. Н., Стыценко Ф. В. Информационная система глобального спутникового мониторинга сельского хозяйства VEGA-GEOGLAM // 13-я Всерос. открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: сб. тез. 2015. С. 431.
  23. Тохиян О. О., Кошкин К. В. Опыт разработки и эксплуатации геопортала Роскосмоса // Геоматика. 2011. № 2. С. 20–28.
  24. Тохиян О. О., Васильев А. Ю., Гладков А. П. Расширение возможностей сервисов Геопортала Роскосмоса // Геоматика. 2015. № 2. С. 22–25.
  25. Albani M. Long Term Data Preservation: status of activities and future ESA programme // GSCB Workshop 2012 ESA/ESRIN. Frascati, 6–7 June 2012. URL: [https://earth.esa.int/documents/1656065/1664726/8-LTDP\\_activities\\_future.pdf](https://earth.esa.int/documents/1656065/1664726/8-LTDP_activities_future.pdf).
  26. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. 2017. V. 202. P. 18–27.
  27. Interoperable Catalogue System Validates / CEOS, WGISS, ICS, Validates. Iss. 1.2. 2005. 55 p. URL: [http://wgiss.ceos.org/ics/documents/ics/Validates-1\\_2\\_5.pdf](http://wgiss.ceos.org/ics/documents/ics/Validates-1_2_5.pdf).
  28. Lee C. A., Gasster S. D., Plaza A., Chang C. I., Huang B. Recent developments in high performance computing for remote sensing: A review // IEEE J. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2011. V. 4. No. 3. P. 508–27.
  29. Satellites to be built and launched by 2026: Research Report. Euroconsult, 2017. URL: <http://www.euroconsult-ec.com/research/satellites-built-launched-by-2026-brochure.pdf>.
  30. Wang L., Ma Y., Yan J., Chang V., Zomaya A. Y. pipsCloud: High performance cloud computing for remote sensing big data management and processing // Future Generation Computer Systems. 2018. V. 78. Pt. 1. P. 353–368. DOI: 10.1016/j.future.2016.06.009.

## Evolution of remote monitoring information systems development concepts

E. A. Loupian, M. A. Burtsev, A. A. Proshin, D. A. Kobets

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

The paper provides the analysis of remote monitoring information systems (RMS) design and development concepts evolution during the last decades along with evolution of Earth remote sensing (ERS) systems and technologies. The paper depicts the main stages of this evolution primarily determined by necessity of effective management of very large data volumes generated by modern ERS systems. The analysis conducted reveals the step-by-step transition from creation of dedicated hardware and software satellite data management infrastructure for a given RMS to maximum use of existing multi-purpose ERS data collection, archiving, processing and dissemination centres features and infrastructure in RMS design. It leads to significant reduction of problem-oriented RMS both development time and development and maintenance cost. The paper provides examples of RMS's designed according to this concept using the resources provided by the IKI-Monitoring Common Use Centre. The article also discusses remote monitoring information systems design and support concepts evolution trends and highlights the reasonability of developing a dedicated information environment for efficient development of RMS's. Such an environment could provide various resources for RMS developers including convenient and standard data access services, data analysis and processing services, computational and hosting resources and RMS development and distributed control tools.

**Keywords:** remote monitoring information systems, Earth observation satellite systems, monitoring systems, automated data processing technologies, remote sensing data, distributed information systems, very large data archives

Accepted: 08.06.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-53-66

## References

1. Akimov V.A., Kramintsev A.P., Kurbatov M.Yu., Rotaru A.N., Savel'ev M.I., Alekseenko Ya.V., Epikhin A.V., Kartashev V.I., Kudinov A.A., Ledentsov S.A., Shabunovich A.V., Shabunovich V.I., *Nazemno-kosmicheskii monitoring chrezvychainykh situatsii* (Space and ground monitoring of disasters), Moscow: FGBU VNII GOChS (FTs), 2016, 128 p.
2. Bartalev S.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Kotel'nikov R.V., Loupian E.A., Shchetinskii V.E., Osnovnyye vozmozhnosti i struktura informatsionnoi sistemy distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaistva (ISDM Rosleskhoz) (The Main Functionalities and Structure of the Forest Fire Satellite Monitoring Information System of Russian Federal Forestry Agency (ISDM-Rosleskhoz)), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 2, pp. 97–105.
3. Bourtsev M.A., Efremov V.Yu., Balashov I.V., Mazurov A.A., Proshin A.A., Loupian E.A., Milekhin O.E., Sistema dostupa k dannym Evropeiskogo, Sibirskogo i Dal'nevostochnogo tsentrov priema Rosgidrometa (Data Handling System for the European, Siberian and Far Eastern Centres of Roshydromet), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 3, pp. 113–119.
4. Bourtsev M.A., Antonov V.N., Efremov V.Yu., Kashnitskiy A.V., Kramareva L.S., Loupian E.A., Mazurov A.A., Matveev A.M., Milekhin O.E., Proshin A.A., Solov'ev V.I., Sistema raboty s raspredelennymi arkhivami rezul'tatov obrabotki sputnikovykh dannykh tsentrov priema NITs "Planeta" (Distributed Satellite Data Processing Products Archives Operation System in the SRC "Planeta" Centres), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 5, pp. 55–76.
5. Gordeev E.I., Girina O.A., Loupian E.A., Kashnitskiy A.V., Uvarov I.A., Efremov V.Yu., Mel'nikov D.V., Manevich A.G., Sorokin A.A., Verkhoturov A.L., Romanova I.M., Kramareva L.S., Korolev S.P., Izuchenie produktov izverzhenii vulkanov Kamchatki s pomoshch'yu giperspektral'nykh sputnikovykh dannykh v informatsionnoi sisteme VolSatView (Studies of Kamchatka volcanic eruptions products using hyperspectral satellite data in VolSatView information system), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 113–128.
6. Gordeev E.I., Girina O.A., Loupian E.A., Sorokin A.A., Kramareva L.S., Efremov V.Yu., Kashnitskiy A.V., Uvarov I.A., Burtsev M.A., Romanova I.M., Mel'nikov D.V., Manevich A.G., Korolev S.P., Verkhoturov A.L., Informatsionnaya sistema VolSatVIEW dlya resheniya zadach monitoringa vulkanicheskoi aktivnosti Kamchatki i Kuril (The VolSatView Information System for Monitoring the Volcanic Activity in Kamchatka and on the Kuril Islands), *J. Volcanology and Seismology*, 2016, Vol. 6, pp. 62–77, DOI: 10.7868/S0203030616060043.
7. Kashnitskiy A.V., Balashov I.V., Loupian E.A., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Sozdanie instrumentov dlya udalenoj obrabotki sputnikovykh dannykh v sovremennykh informatsionnykh sistemakh (Development of software tools for satellite data remote processing in contemporary information systems), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 156–170.
8. 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.
9. Loupian E.A., Savorskiy V.P., Bazovyye 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.
10. 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.

11. Loupian E. A., Mazurov A. A., Nazirov R. R., Proshin A. A., Flitman E. V., Krashenninnikova Yu. S., 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.
12. Loupian E. A., Matveev A. A., Uvarov I. A., Bocharova T. Yu., Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Sputnikovyi servis See the Sea — instrument dlya izucheniya razlichnykh yavlenii na poverkhnosti okeana (The Satellite Service See the Sea — a tool for the Study of Oceanic Phenomena and Processes), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 251–262.
13. Loupian E. A., Savorskii V. P., Shokin Yu. I., Aleksanin A. I., Nazirov R. R., Nedoluzhko I. V., Panova O. Yu., Sovremennye podkhody i tekhnologii organizatsii raboty s dannymi distantsionnogo zondirovaniya Zemli dlya resheniya nauchnykh zadach (Up-to-date Approaches and Technology Arrangement of Earth Observation Data Applications Aimed to Solve Scientific Tasks), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 5, pp. 21–44.
14. 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: doklady V Vserossiiskoi konferentsii, posvyashchennoi pamyati vydayushchikhsya uchenykh-lesovodov V.I. Sukhikh i G.N. Korovina* (Aerospace Method and GIS-Technologies in Forestry and Forest Management: Proc. 5<sup>th</sup> All-Russian 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.
15. 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., Sistema raboty s ob"edinennymi informatsionnymi resursami, poluchaemymi na osnove sputnikovyykh 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.
16. Loupian E. A., Balashov I. V., Burtsev M. A., Efremov V. Yu., Krashenninnikova Yu. S., Mazurov A. A., Matveev A. M., Nazirov R. R., Proshin A. A., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Flitman E. V., Sozdanie tekhnologii postroeniya informatsionnykh sistem distantsionnogo monitoringa (Development of technologies for creation of remote monitoring information systems), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 53–75.
17. 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., Krashenninnikova 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., Organizatsiya raboty so sputnikovymi dannymi v informatsionnoi sisteme distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaistva (ISDM-Rosleskhoz) (Satellite data processing management in framework of Forest Fires Remote Monitoring Information System (ISDM-Rosleskhoz) of the Federal Agency for Forestry), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 222–250.
18. 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., Tsentral'nyy kolektivnyy pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovyykh 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.
19. Loupian E. A., Bartalev S. A., Balashov I. V., Bartalev S. S., Burtsev M. A., Egorov V. A., Efremov V. Yu., Zharko V. O., Kashnitskiy A. V., Kolbudaev P. A., Kramareva L. S., Mazurov A. A., Oksyukevich A. Yu., Plotnikov D. E., Proshin A. A., Sen'ko K. S., Uvarov I. A., Khvostikov S. A., Khovratovich T. S., Informatsionnaya sistema kompleksnogo distantsionnogo monitoringa lesov "Vega-Primor'e" (Vega-Primorie: complex remote forest monitoring information system), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 5, pp. 11–28, DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-11-28.
20. Nosenko Yu. I., Loshkarev P. A., Edinaya territorial'no-raspredelennaya informatsionnaya sistema DZZ — problemy, resheniya, perspektivy (chast' 1) (Joint spatially distributed Earth remote sensing information system — problems, solutions, perspectives (part 1)), *Geomatika*, 2010, No. 3, pp. 35–43.
21. Proshin A. A., Loupian E. A., Balashov I. V., Kashnitskiy A. V., Burtsev M. A., Sozdanie unifitsirovannoi sistemy vedeniya arkhivov sputnikovyykh 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.
22. Tolpin V. A., Balashov I. V., Bartalev S. A., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Ladonina N. N., Stytsenko F. V., Informatsionnaya sistema global'nogo sputnikovogo monitoringa sel'skogo khozyaistva VEGA-GEOGLAM (VEGA-GEOGLAM global satellite agriculture monitoring information system), *13-ya Vserossiiskaya otkrytaya konferentsiya "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (13<sup>th</sup> All-Russia Open Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Book of Abstracts, 2015, p. 431.
  23. Tokhiyan O. O., Koshkin K. V., Opyt razrabotki i ekspluatatsii geoportala Roskosmosa (Roscosmos Geoportal development and operation experience), *Geomatika*, 2011, No. 2, pp. 20–28.
  24. Tokhiyan O. O., Vasil'ev A. Yu., Gladkov A. P., Rasshirenie vozmozhnostei servisov Geoportala Roskosmosa (Capability enhancement of the Roscosmos Geoportal services), *Geomatika*, 2015, No. 2, pp. 22–25.
  25. Albani M., Long Term Data Preservation: status of activities and future ESA programme, *GSCB Workshop 2012 ESA/ESRIN*, Frascati, 6–7 June, 2012, available at: [https://earth.esa.int/documents/1656065/1664726/8-LTDP\\_activities\\_future.pdf](https://earth.esa.int/documents/1656065/1664726/8-LTDP_activities_future.pdf).
  26. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R., Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, *Remote Sensing of Environment*, 2017, Vol. 202, pp. 18–27.
  27. *Interoperable Catalogue System Validates*, CEOS/WGISS/ICS/Validates, Issue 1.2, 2005, 55 p., available at: [http://wgiss.ceos.org/ics/documents/ics/Validates-1\\_2\\_5.pdf](http://wgiss.ceos.org/ics/documents/ics/Validates-1_2_5.pdf).
  28. Lee C. A., Gasster S. D., Plaza A., Chang C. I., Huang B., Recent developments in high performance computing for remote sensing: a review, *IEEE J. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2011, Vol. 4, No. 3, pp. 508–527.
  29. *Satellites to be built & launched by 2026*, Research Report, Euroconsult, 2017, Brochure available at: <http://www.euroconsult-ec.com/research/satellites-built-launched-by-2026-brochure.pdf>.
  30. Wang L., Ma Y., Yan J., Chang V., Zomaya A. Y., pipsCloud: High performance cloud computing for remote sensing big data management and processing, *Future Generation Computer Systems*, 2018, Vol. 78, Part 1., pp. 353–368, DOI: 10.1016/j.future.2016.06.009.