Унифицированная технология дистанционного мониторинга природных и антропогенных объектов

А. М. Константинова [1], И. В. Балашов [1], А. В. Кашницкий [1], Е. А. Лупян [1], И. Д. Мухамеджанов [2]

[1] *Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия*
E-mail: evgeny@d902.iki.rssi.ru

[2] *ООО «Институт космических исследований Земли», Москва, 121205, Россия*
E-mail: ildarmsu@gmail.com

В работе рассматривается необходимость разработки новых подходов к обработке и использованию спутниковой информации, вызванная ростом числа спутниковых систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), а также повышением качества и увеличением объёмов предоставляемых ими данных. Предлагается «объектный» подход к работе с данными ДЗЗ для мониторинга природных и антропогенных процессов и явлений, который предполагает работу не с каждым пикселем в отдельности, а с обобщёнными на однородные области (объекты) спутниковыми данными. В работе представлена унифицированная технология дистанционного «объектного» мониторинга, созданная на базе Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» для реализации данного подхода. Данная технология была интегрирована в уникальную научную установку Вега-Science. Описаны требования, предъявляемые к создаваемой технологии, её структура и взаимодействие функциональных блоков. Созданная технология позволяет в автоматическом режиме исследовать различные природные и природно-антропогенные объекты как в ретроспективе, так и в плане организации постоянного слежения за ними. Работоспособность технологии подтверждена примерами её использования для организации дистанционного мониторинга широкого круга типов объектов в рамках реализации различных исследовательских проектов.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, природные объекты, природно-антропогенные объекты, технология, «объектный» мониторинг, ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

Одобрена к печати: 26.07.2021
DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-41-52

Введение

В настоящее время мониторинг за различными объектами земной поверхности и атмосферы с использованием спутниковых данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) — достаточно традиционная задача. Благодаря постоянному росту числа спутниковых систем ДЗЗ и повышению качества предоставляемых ими данных с каждым днём открывается всё больше возможностей для исследований окружающей среды и создания систем мониторинга природных и антропогенных явлений и объектов. На сегодняшний день на орбите функционирует порядка нескольких сотен спутников ДЗЗ, и в дальнейшем ожидается их постоянный рост. Расширение возможностей (числа, производительности и пространственного разрешения) спутниковых систем наблюдения Земли ведёт к резкому увеличению объёма получаемой от них информации. Поэтому для её эффективного использования требуется разработка новых подходов организации работы с данными.

Одним из таких новых подходов может стать «объектный» подход к организации работы с данными ДЗЗ. Этот подход существенно отличается от традиционного попиксельного анализа данных. Ключевое отличие состоит в том, что спутниковая информация хранится, обрабатывается и анализируется не для каждого пикселя получаемых данных, а интегрируется на отдельные, достаточно однородные области — объекты. Под понятием «объект» далее в настоящей работе мы будем понимать некую совокупность информации об однородном наблюдаемом участке, которая включает в себя «описание объекта» (определяет характеристики объекта и правила его наблюдений) и «наблюдения объекта» (ряды различных параметров,

которые вычисляются для объекта по наборам спутниковых данных). Такие объекты фактически ориентированы на организацию сбора, хранения и работы с интегрированной информацией наблюдений конкретного физического объекта (участка леса, поля, водного объекта и т. д.). «Объектный» подход организации информации позволяет сократить объём обрабатываемых данных, организовать накопление данных наблюдений по отдельным объектам, сохраняя при этом только те характеристики, получаемые по спутниковым данным, которые могут быть полезны для изучения конкретного объекта и контроля его состояния. Предлагаемый подход позволяет проводить анализ данных как одномоментных наблюдений, а также организовать достаточно эффективную работу с данными долговременных наблюдений отдельных объектов. При этом для исследуемых объектов могут формироваться ряды на основе как исторических, так и оперативных наблюдений, которые можно получать с использованием возможностей различных спутниковых средств и систем. Данный подход также позволяет организовывать постоянное слежение за интересующими участками территорий и конкретными объектами.

В то же время следует отметить, что «объектный» мониторинг практически невозможно организовать и вести без наличия специальной автоматизированной технологии анализа спутниковых данных. Настоящая работа посвящена описанию созданной в Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН) унифицированной технологии обработки спутниковых данных, позволяющей организовывать мониторинг объектов в интересах различных информационных систем (ИС) (Лупян и др., 2015): Вега-Science (http://sci-vega.ru/), EcoSatMS (http://suvo.geosmis.ru/), VolSatView (*англ.* Ecosystem Satellite Monitoring Service) (http://volcanoes.smislab.ru/). В работе также кратко представлены примеры использования созданной технологии.

Основные задачи создаваемой технологии и схема её реализации

Задача создания автоматизированной системы наблюдения за объектами возникает, когда при реализации конкретного проекта появляется необходимость получать информацию не по отдельным точкам, а по объектам (выделенным участкам). При этом необходимо организовать такой мониторинг однотипным образом, независимо от задач конкретного проекта, типов исследуемых объектов, их числа и географического положения. Исходя из анализа задач, возникающих в различных проектах, в которых необходимо обеспечить мониторинг разнообразных объектов (в частности, мониторинг зон техногенных отходов и отвалов (Лупян и др., 2020), мониторинг водных объектов Узбекистана и Центральной Азии (Mukhamedzhanov et al., 2020)) была разработана иерархическая структура организации данных, представленная на *рис. 1* (см. с. 43). Базовым элементом в этой структуре становится исследовательский проект, в котором решается конкретная научная или прикладная задача. Проект может быть поделён территориально на различные районы исследования. Районы исследования обычно определяются некоторыми географическими регионами, для которых, как и для объектов, может быть организован расчёт некоторых характеристик на основе спутниковых данных. Для каждого района наблюдения могут заводиться объекты, мониторинг и исследование которых осуществляется в конкретном проекте. В зависимости от типа и свойств конкретного объекта (промышленный объект, участок, занятый естественной растительностью, водоём и т. п.) для проведения его мониторинга необходимо осуществлять получение тех или иных показателей, восстанавливаемых по спутниковым данным. Показатели, которые необходимо получать для конкретного объекта, определяются его типом. В рамках одного проекта могут использоваться различные типы объектов. Создаваемые объекты определяются контуром (границей), набором показателей и правилами наблюдений (в том числе периодом наблюдений и требованиями к постоянному оперативному получению данных). При этом для получения информации о любом объекте должна использоваться универсальная схема расчёта этих показателей, функционирование которой в общем случае не зависит ни от показателя, ни от самого объекта. Для лучшего понимая основных возможностей предлагаемой структуры

организации данных можно ознакомиться с примером её использования в проекте, направленном на оценку состояния окружающей среды в зонах расположения крупных промышленных объектов (Лупян и др., 2020).

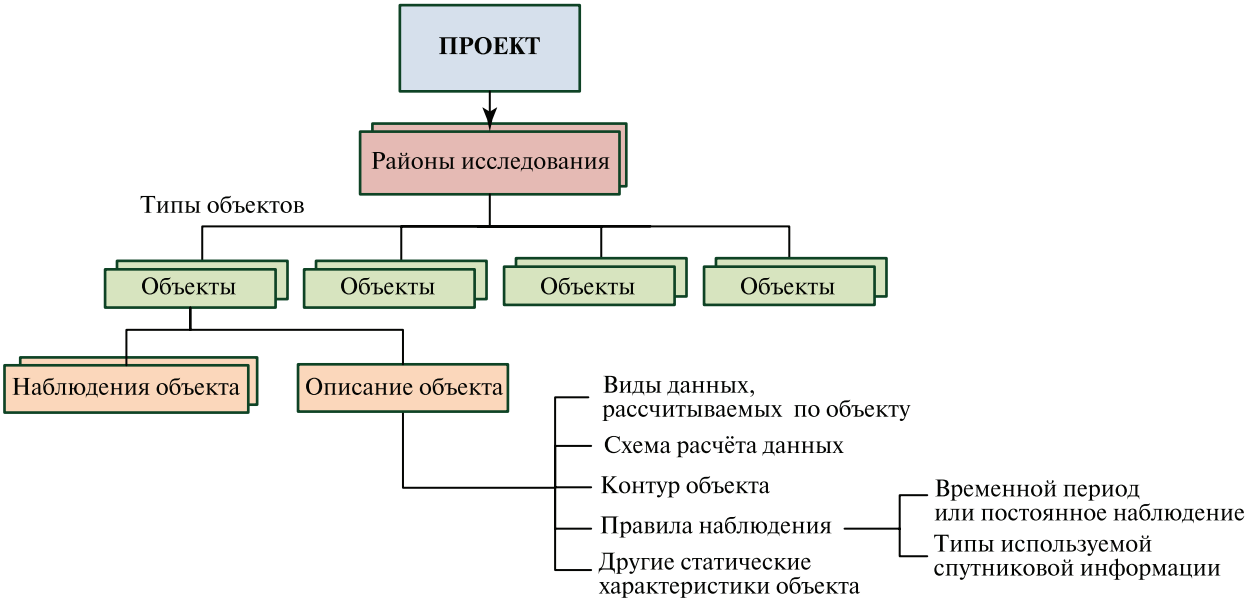

Рис. 1. Иерархическая структура организации данных «объектного» мониторинга

Следует отметить, что в силу того, что предлагаемая структура рассчитана на работу в различных проектах, в которых может изучаться значительное число объектов и районов исследования, весь расчёт необходимых характеристик объектов и районов должен осуществляться автоматически с использованием заранее описанных правил расчёта характеристик и спутниковых данных, используемых для этого. Для проведения анализа и обработки информации, получаемой как по районам исследования, так и по объектам, должны быть созданы различные интерфейсы, обеспечивающие доступ к данной информации, и необходимые инструменты для работы с ней.

Для удобной реализация различных проектов на основе предлагаемой схемы требуется создание следующих основных инструментов:

- инструментов создания проектов, типов районов наблюдения, типов объектов, включая описание правил расчёта, представления и визуализации различных характеристик для конкретных типов используемых спутниковых данных;
- инструментов создания в рамках отдельных проектов районов наблюдений. Эти инструменты должны в том числе позволять формировать:
  - описание района;
  - границы района;
  - список используемых в районе типов объектов;
  - временные периоды, в рамках которых производятся расчёты характеристик конкретного района;
- инструментов создания в рамках отдельных проектов и районов наблюдений различных типов объектов. Эти инструменты должны в том числе позволять формировать:
  - описание объекта;
  - границы объекта (или правила их динамического формирования);
  - временные периоды, в рамках которых производится расчёты для характеристик конкретного района;
- инструментов автоматизированного расчёта различных характеристик по полигонам объектов на основе оперативной и исторической спутниковой информации;

- инструментов автоматизированного ведения баз данных (БД) с информацией о проектах, районах исследования и полигонах. Эти БД должны содержать как статические описания проектов, районов и полигонов, так и информацию о различных характеристиках, полученных по ним на основе спутниковых данных;
- различных инструментов представления и визуализации для анализа информации, получаемой для районов и объектов на основе спутниковых данных, в том числе представление её в картографическом интерфейсе и в виде графиков, а также экспорт данных для анализа их в различных системах обработки данных;
- различных инструментов администрирования, управления и контроля работоспособности элементов создаваемой системы.

Следует отметить, что данные инструменты необходимо реализовать в виде единой технологии, которая должна обеспечить их взаимодействие и автоматическое получение, хранение и представление информации о районе исследования и изучаемых объектах. Создаваемая технология должна обладать такой архитектурой и связями с внешними технологиями, чтобы с помощью неё можно было достаточно легко осуществлять мониторинг объектов различного типа и решать исследовательские задачи широкого круга. В том числе должна иметься простая возможность заведения новых типов объектов наблюдения и правила работы с ним, а также самих объектов. Информация об объектах и районах исследования должна автоматически усваиваться различными инструментами и блоками технологии, на основе которых они реализованы.

Исходя из вышеприведённых требований была разработана схема реализации технологии дистанционного «объектного» мониторинга, представленная на *рис. 2*.

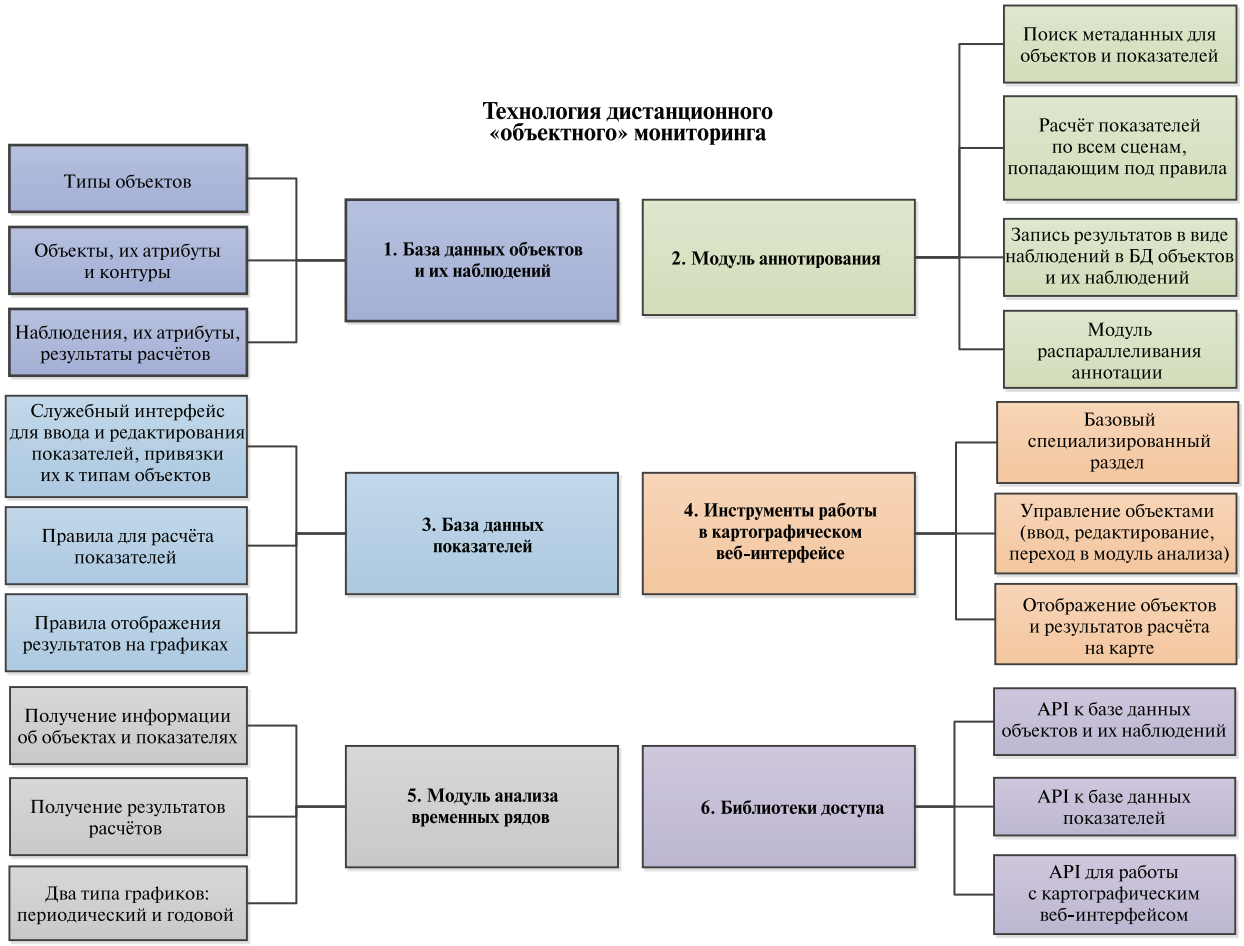

Рис. 2. Общая структура технологии дистанционного «объектного» мониторинга

Особенности реализации создаваемой технологии

Технология дистанционного «объектного» мониторинга разрабатывалась на основе инфраструктуры Центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (http://ckp.geosmis.ru) и была интегрирована в семейство информационных систем (ИС) дистанционного мониторинга «Созвездие-Вега», в том числе во входящую в состав ЦКП «ИКИ-Мониторинг» уникальную научную установку Вега-Science (http://sci-vega.ru) (Лупян и др., 2011). Спутниковые данные для вычисления различных характеристик объектов предоставляются созданными в рамках ЦКП «ИКИ-Мониторинг» архивами.

В процессе реализации технологии дистанционного «объектного» мониторинга были разработаны функциональные блоки, представленные на *рис. 2.* В частности, в процессе разработки технологии были созданы:

- унифицированный автоматизированный сервис расчёта различных характеристик объектов на основе спутниковых данных (модуль аннотирования);
- унифицированная схема описания показателей, рассчитываемых на основе спектральных индексов и информационных продуктов, доступных в системе Вега-Science (например, показателя, представляющего собой среднее значение внутри контура объекта вегетационного индекса NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index — нормализованный разностный вегетационный индекс): NDVI = (NIR – RED)/(NIR + RED) (NIR — *англ.* near infrared, ближний инфракрасный), RED — красный)), строящегося с использованием различных спутниковых систем: MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) (Terra/Aqua), MSI (*англ.* Multispectral Instrument) (Sentinel-2), OLI (*англ.* Operational Land Imager) (Landsat-8) и др.). Такая схема позволяет не только задавать характеристики, которые должны быть рассчитаны для объектов мониторинга, но и обеспечить сквозную интеграцию данных о показателях в картографическом интерфейсе, инструменте графического анализа, модуле аннотации;
- специализированный раздел в картографическом веб-интерфейсе для работы с объектами и их наблюдениями;
- средства интеграции посчитанных значений в модуль анализа временных рядов наблюдений объектов;
- средства визуализации значений рассчитанных показателей на карте.

Для создания некоторых функциональных блоков, входящих в структуру технологии дистанционного «объектного» мониторинга, были задействованы ранее разработанные в ИКИ РАН технологии и программные комплексы (ПК):

- ПК ObjectsSurveysSMIS_les (Лупян и др., 2016), разработанный для дистанционного мониторинга состояния лесов. Данный ПК был взят в качестве основы для ведения БД объектов наблюдений;
- технология GEOSMIS — ПК для построения интерфейсов работы с пространственной информацией в системах дистанционного мониторинга, включающий в себя картографический веб-сервис SMISWMS (Толпин и др., 2011). С помощью данной технологии разрабатывались инструменты для работы с объектами и их наблюдениями в картографическом веб-интерфейсе;
- программное обеспечение (ПО) для ведения распределённых унифицированных архивов спутниковых данных (UNISAT — *англ.* University Satellite), а также для получения вычисляемых «виртуальных» информационных продуктов из больших распределённых архивов спутниковых данных (UnisatVirtualProducts) (Прошин и др., 2016). Данное ПО позволило обеспечить доступ к спутниковой информации, правилам расчёта исходных данных для показателей и правилам отображения их значений на карте практически во всех функциональных блоках создаваемой технологии;
- ПК для создания систем организации управления и контроля работоспособности распределённых систем сбора, обработки и распространения спутниковых данных (PMS)

(Балашов и др., 2010). С помощью данного ПК были организованы автоматический запуск и контроль процессов, выполняемых модулем аннотирования;
- блок инструментов графического анализа рядов данных SmisCharts (Марченков и др., 2019). На основе данного блока инструментов был создан модуль анализа временных рядов значений показателей для объектов.

Для организации непосредственно мониторинга объектов по спутниковым данным был разработан автоматизированный сервис аннотирования (Лупян и др., 2020). Сервис работает в двух режимах: расчёт по историческим сценам спутниковых данных для новых объектов и расчёт по оперативным данным, появляющимся в архивах для уже заведённых объектов. Процессы для поиска новых объектов и данных запускаются полностью автоматически по заранее установленному графику.

На вход процесса аннотирования поступает информация о типе объектов и режиме запуска, далее происходит поиск объектов, попадающих под заданные условия. Для указанного типа объекта запрашивается список рассчитываемых показателей из БД показателей и информация о спутниковых системах, данные которых могут использоваться для расчёта, описанная в источниках данных показателей, затем формируются блоки запросов для поиска спутниковых сцен в распределённых архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг», удовлетворяющих заданным условиям. Для всех сцен спутниковых данных многопоточно загружаются маски облачности, если это необходимо. Далее в параллельном потоке загружаются tiff-файлы со значениями показателя по всем сценам, tiff-файлы фильтруются по маске облачности, рассчитываются необходимые характеристики, значения вносятся в БД объектов наблюдений. Расчёт показателей и запись результатов в БД для одного нового объекта по сценам спутниковых данных, доступных в распределённых архивах, в зависимости от количества рассчитываемых показателей занимает от нескольких минут до получаса.

Унифицированная схема описания показателей, используемых для мониторинга объектов наблюдений, была создана на основе специализированной БД показателей (Прошин и др., 2020), имеющей гибкую структуру. Данная БД позволяет вести общую информацию обо всех доступных показателях для каждого типа аннотируемых объектов, а также определять для каждого из показателей произвольный набор необходимых параметров. Для обеспечения интеграции и усвоения правил работы с новым показателем во всех функциональных блоках создаваемой технологии необходимо в служебном интерфейсе БД показателей определить для него два типа отображения, описывающие правила его расчёта в сервисе аннотирования, и правила отображения результатов расчёта на графиках. Исходные атрибуты для расчёта показателей:

1. Источник данных для расчёта:
   1.1. Информация о спутниковой системе (прибор, спутник).
   1.2. Ссылка на справочную информацию о спектральном индексе либо виртуальном (формируемом «на лету») тематическом продукте, хранящуюся в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг», созданных по технологии UNISAT (правила и описания исходных данных для вычисления используемого виртуального продукта).
   1.3. Тип показателя — реальный (с предварительным расчётом) или виртуальный (вычисляемый «на лету» из канальных данных). В случае использования виртуального показателя в БД объектов наблюдений хранятся только рассчитанные канальные значения, а значение самого показателя вычисляется при необходимости. Такой подход позволяет сократить объёмы хранимой информации и сократить ресурсы для расчётов, если разные показатели строятся с использованием одних и тех же канальных данных.
2. Название тематического продукта, предоставляющего информацию по маске облачности.
3. Характеристики для расчёта — среднее значение, среднеквадратическое отклонение, площадь целевых пикселей и т. п.
4. Диапазон значений для фильтрации некачественных наблюдений.

Чтобы автоматически добавить рассчитанные данные по новому показателю в интерфейс анализа временных рядов, необходимо в правилах отображения показателя на графиках определить для него следующие сведения: описание осей, скважность данных, модуль для запроса данных, подписи к данным.

Для реализации специализированного раздела в картографическом веб-интерфейсе (Константинова и др., 2020) был разработан его базовый вариант, который может наследоваться и расширяться в зависимости от специфики решаемых задач и типов объектов, что позволяет просто создавать специализированные разделы работы с объектами в любой информационной системе, разрабатываемой на основе технологий ИКИ РАН. Следует отметить, что веб-сервисы для получения информации из БД объектов наблюдений возвращают её в стандартном виде — как и для других разделов картографического веб-интерфейса, в частности для работы со спутниковыми данными (список объектов, список спутниковых сцен, по которым производились наблюдения). Для заведения нового объекта с помощью данного специализированного раздела эксперту, работающему в картографическом веб-интерфейсе, достаточно оконтурить объект на карте, указать его тип и диапазон наблюдения за ним. Далее новый объект подхватывается сервисом аннотирования и спустя некоторое время расчёта эксперт имеет возможность визуалировать рассчитанные значения на карте, выбрав объект в списке объектов и сцену спутниковых данных, либо анализировать полученные данные в модуле анализа временных рядов, выгружать значения в табличные интерфейсы.

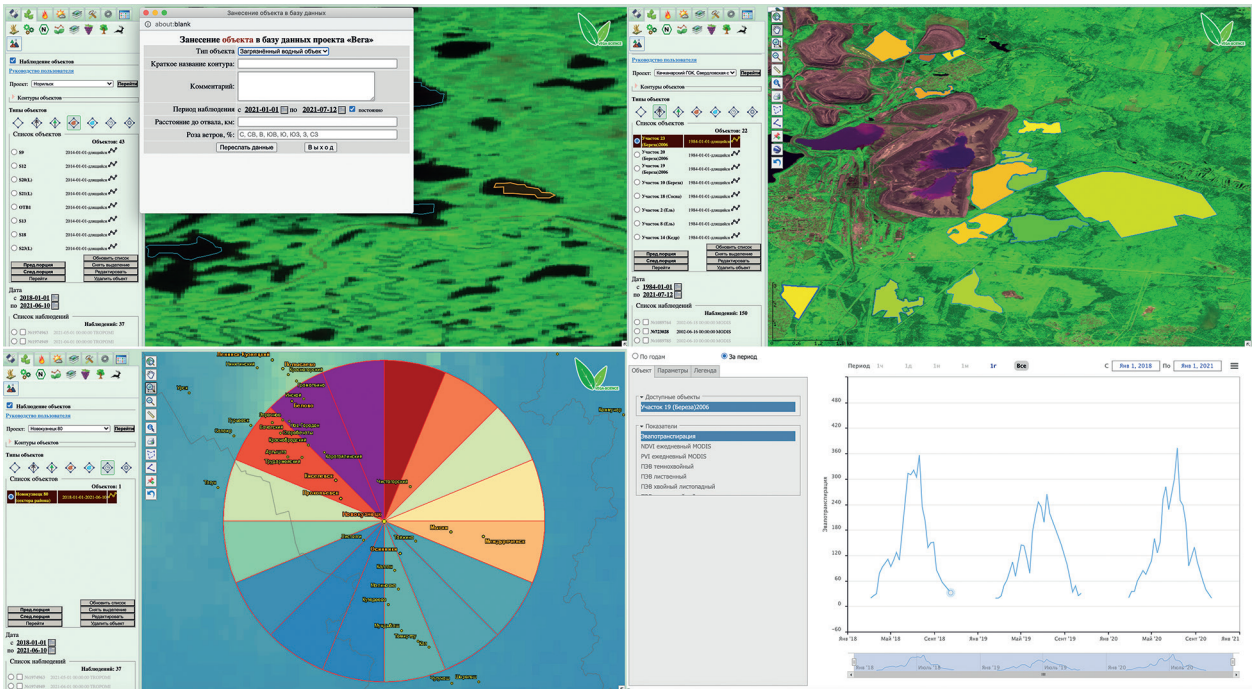

Рис. 3. Специализированные инструменты технологии дистанционного «объектного» мониторинга

Для проведения анализа временных рядов различных показателей, получаемых по объектам мониторинга, был модифицирован модуль графического анализа временных рядов, используемых в сервисах семейства «Созвездие-Вега» (Марченков, Уваров, 2020). Основная задача модификации — обеспечение автоматизированного взаимодействия модуля с БД показателей для возможности автоматического отображения в интерфейсе графиков показателей, использующихся в конкретных проектах и для конкретных типов объектов. Также в интерфейсе анализа графиков было поддержано использование вычисляемых «на лету» показателей, правила расчёта которых автоматически берутся из описания в БД показателей. Для визуализации значений рассчитанных показателей в картографических веб-интерфейсах, использующихся в сервисах семейства «Созвездие-Вега» (Толпин и др., 2011), была обеспечена

возможность отображения изучаемых объектов с применением палитры тематического продукта, на основе которого создавался показатель. Такие палитры хранятся в специализированной БД вместе с описаниями тематических продуктов. В целом для управления, визуализации и анализа информации об объектах создана целая серия различных инструментов как в картографических интерфейсах, так и в интерфейсах графиков. Примеры таких интерфейсов представлены на *рис. 3* (см. с. 47).

Следует также отметить, что развиваемая технология полностью ориентирована на возможность использования распределённой схемы обработки и анализа данных. Это позволяет, с одной стороны, использовать все распределённые вычислительные и информационные ресурсы, доступные ЦКП «ИКИ-Мониторинг», и с другой — проводить распределённый анализ данных с использованием различных веб-интерфейсов, которые могут быть реализованы в информационных системах проектов, создаваемых на базе представленной технологии.

Примеры использования разработанной технологии

На сегодняшний день созданная подсистема «объектного» мониторинга успешно применяется для исследований множества объектов разной природы происхождения, её функционал используется в различных проектах. Примерами таких проектов, в частности, являются:

- создание системы комплексного спутникового мониторинга водных объектов Узбекистана и Центральной Азии в рамках ИС EcoSatMS. В данном проекте осуществляется мониторинг «космических гидропостов» (КГП) (Мухамеджанов и др., 2020), которые фактически выступают некоторыми полигонами (объектами) пресекающими русла рек. В качестве показателя для расчёта наблюдений по КГП используется площадь водных пикселей, определяемая на основе модифицированного разностного водного индекса MNDWI (*англ.* Modification of Normalised Difference Water Index). Данная площадь фактически отражает водность реки в месте расположения конкретного полигона. Анализ поведения КПГ фактически позволяет проводить мониторинг и оценку состояния рек в регионе исследования;
- изучение состояния окружающей среды в зонах расположения крупных промышленных объектов, техногенных отходов и отвалов в рамках ИС Вега-Science (Лупян и др., 2020). В этом проекте исследуются территории вокруг крупных промышленных предприятий. Для каждого района исследования заводятся потенциально загрязнённые и контрольные (чистые) участки растительности и воды. Совместный анализ полученных долговременных значений вегетационных индексов для объектов с однородным лесом на потенциально загрязнённых и незагрязнённых территориях позволяет выявить деградацию растительности в этих зонах. Оценка значений водных индексов предоставляет возможность определить аномальные состояния некоторых озёр вблизи хвостохранилищ и других источников загрязнений;
- изучение концентрации газовых составляющих в составе атмосферы над территориями крупных городов в рамках ИС Вега-Science (Константинова и др., 2021). В этом проекте в настоящее время ведутся исследования динамики концентрации диоксида азота на основе данных TROPOMI (*англ.* TROPOspheric Monitoring Instrument) Sentinel-5P над территориями крупных городов России, а также в зоне их влияния. Оцениваются сезонные и межгодовые тренды концентрации, выявляются наиболее загрязнённые диоксидом азота направления вокруг исследуемых городов;
- мониторинг вулканической активности Камчатки и Курил с использованием ИС VolSatView (http://volcanoes.smislab.ru) (Гордеев и др., 2016). В рамках данного проекта созданная технология используется для ведения наблюдения за участками потенциальных извержений в районах действующих вулканов с целью мониторинга и изучения температурных аномалий, возникающих на этих участках. При этом разработанные подходы позволяют обеспечить сбор и анализ информации, получаемой от различных спутниковых систем наблюдений (как низкоорбитальных, так и геостационарных).

Заключение

Таким образом, созданная технология «объектного» дистанционного мониторинга позволяет решать достаточно разнообразные задачи и организовывать постоянный дистанционный мониторинг различных природных и природно-антропогенных объектов, исследовать их в ретроспективе. При этом создание специализированных систем в интересах конкретных проектов не требует значительных трудовых и временных затрат, поскольку создан инструментарий, позволяющий легко формировать схемы работы с информацией (сбор, хранение, обработку и анализ) в интересах конкретной системы и/или проекта. Всё это достигается в первую очередь за счёт того, что в рамках разработанной технологии удалось в значительной мере унифицировать подходы и программные решения, ориентированные на реализацию дистанционного мониторинга различных объектов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-37-90114) с использованием возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019), поддерживаемого в рамках темы «Мониторинг» Министерства науки и высшего образования РФ (госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

Литература

1. *Балашов И. В.*, *Ефремов В. Ю.*, *Мазуров-мл. А. А.*, *Мамаев А. С.*, *Матвеев А. М.*, *Прошин А. А.* Организация контроля за функционированием распределенных систем сбора, обработки и распространения спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 4. С. 34–41.
2. *Гордеев Е. И.*, *Гирина О. А.*, *Лупян Е. А.*, *Сорокин А. А.*, *Крамарева Л. С.*, *Ефремов В. Ю.*, *Кашницкий 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.
3. *Константинова А. М.*, *Балашов И. В.*, *Кашницкий А. В.*, *Лупян Е. А.*, *Прошин А. А.*, *Сенько К. С.*, *Сычугов И. Г.* Организация подсистем работы с наблюдениями объектов в сервисах, работающих по технологии GEOSMIS // Материалы 18-й Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020, ИКИ РАН, Москва. 2020. С. 82. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
4. *Константинова А. М.*, *Лупян Е. А.*, *Бриль А. А.* Анализ концентрации диоксида азота с использованием спутниковых данных как индикатора загрязнения воздуха в разрезе крупных городов России и мира // Материалы 18-й Конф. молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 14–16 апр. 2021, ИКИ РАН, Москва. 2021. С. 46–47.
5. *Лупян Е. А.*, *Савин И. Ю.*, *Барталев С. А.*, *Толпин В. А.*, *Балашов И. В.*, *Плотников Д. Е.* Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
6. *Лупян Е. А.*, *Балашов И. В.*, *Бурцев М. А.*, *Ефремов В. Ю.*, *Кашницкий А. В.*, *Кобец Д. А.*, *Крашенинникова Ю. С.*, *Мазуров А. А.*, *Назиров Р. Р.*, *Прошин А. А.*, *Сычугов И. Г.*, *Толпин В. А.*, *Уваров И. А.*, *Флитман Е. В.* Создание технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 53–75.
7. *Лупян Е. А.*, *Сенько К. С.*, *Балашов И. В.* Программный комплекс для ведения БД дистанционных наблюдений различных лесных объектов (ObjectsSurveysSMIS_les): Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. № 2016662696 / № 2016619889. Опубл. 21.11.2016.
8. *Лупян Е. А.*, *Прошин А. А.*, *Бурцев М. А.*, *Кашницкий А. В.*, *Балашов И. В.*, *Барталев С. А.*, *Константинова А. М.*, *Кобец Д. А.*, *Мазуров А. А.*, *Марченков В. В.*, *Матвеев А. М.*, *Радченко М. В.*, *Сычугов И. Г.*, *Толпин В. А.*, *Уваров И. А.* Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
9. *Лупян Е. А.*, *Константинова А. М.*, *Балашов И. В.*, *Кашницкий А. В.*, *Саворский В. П.*, *Панова О. Ю.* Разработка системы анализа состояния окружающей среды в зонах расположения

крупных промышленных объектов, хвостохранилищ и отвалов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 243–261. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-243-261.
10. *Марченков В. В.*, *Уваров И. А.* Развитие инструментов графического анализа рядов данных в системах семейства «Созвездие-Вега» // Материалы 18-й Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, Москва. 2020. С. 91. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
11. *Марченков В. В.*, *Толпин В. А.*, *Уваров И. А.* Анализ рядов данных в информационных системах семейства «Созвездие Вега» // Материалы 17-й Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 11–15 нояб. 2019, ИКИ РАН, Москва. 2019. С. 106. DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a.
12. *Мухамеджанов И. Д.*, *Константинова А. М.*, *Лупян Е. А.* Использование спутниковых данных при мониторинге рек бассейна Амударьи // Материалы 6-й Международной науч. конф. «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли». 29 сент. – 2 окт. 2020, Красноярск. 2020. С. 265–270.
13. *Прошин А. А.*, *Лупян Е. А.*, *Балашов И. В.*, *Кашницкий А. В.*, *Бурцев М. А.* Создание унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных, предназначенной для построения современных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 9–27. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-9-27.
14. *Прошин А. А.*, *Константинова А. М.*, *Лупян Е. А.*, *Толпин В. А.*, *Кашницкий А. В.* Система управления расчетом и отображением получаемых на основе обработки спутниковых данных показателей по объектам мониторинга // Материалы 18-й Всероссийской открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16–20 нояб. 2020. ИКИ РАН, Москва. 2020. С. 96. DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
15. *Толпин В. А.*, *Балашов И. В.*, *Ефремов В. Ю.*, *Лупян Е. А.*, *Прошин А. А.*, *Уваров И. А.*, *Флитман Е. В.* Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 93–108.
16. *Mukhamedzhanov I. D.*, *Konstantinova A. M.*, *Uvarov I. A.* Capabilities of the “IKI-Monitoring” Center for collective use in organizing the satellite monitoring of the Central Asian Region // InterCarto. InterGIS. 2020. Vol. 26. Pt. 2. P. 376–383. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-376-383.

Unified technology for remote monitoring of natural and anthropogenic objects

A. M. Konstantinova [1], I. V. Balashov [1], A. V. Kashnitskii [1], E. A. Loupian [1], I. D. Mukhamedzhanov [2]

[1] *Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia*
E-mail: evgeny@d902.iki.rssi.ru

[2] *OOO Space Research Institute for the Earth, Moscow 121205, Russia*
E-mail: ildarmsu@gmail.com

This paper discusses the need for development of new satellite data processing approaches arising from the increasing number of satellite Earth remote sensing systems along with increasing quality and quantity of satellite data they provide. For environmental and anthropogenic monitoring, the “object” approach is suggested, based on generalization of satellite data to homogeneous areas (objects) as alternative to pixel processing approach. Here we present the unified technology for “object” monitoring created on the basis of IKI-Monitoring Center for Collective Use implementing the approach. This technology has been integrated into the unique scientific service Vega-Science. The requirements for the created technology, its structure and interaction of functional blocks are described. The developed technology allows performing automated monitoring of various natural and natural-anthropogenic objects both on an ongoing basis and in retrospect. Efficiency of the technology is confirmed by its use in monitoring of a wide range of types of objects under various research projects.

Keywords: remote sensing, natural objects, natural and anthropogenic objects, technology, "object" monitoring, IKI-Monitoring Center for Collective Use

Accepted: 26.07.2021
DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-41-52

References

1. Balashov I. V., Efremov V. Yu., Mazurov A. A., Mamaev A. S., Matveev A. M., Proshin A. A., Control over distributed satellite data collection, processing and dissemination systems operation, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, Vol. 7, No. 4, pp. 34–41 (in Russian).
2. Gordeev E. I., Girina O. A., Loupian E. A., Sorokin A. A., Kramareva L. S., Efremov V. Yu., Kashnitskii A. V., Uvarov I. A., Bourtsev M. A., Romanova I. M., Melnikov D. V., Manevich A. G., Korolev S. P., Verkhoturov A. *L.*, The VolSatView information system for monitoring the volcanic activity in Kamchatka and on the Kuril Islands, *J. Volcanology and Seismology*, 2016, Vol. 10, No. 6, pp. 382–394.
3. Konstantinova A. M., Balashov I. V., Kashnitskiy A. V., Loupian E. A., Proshin A. A., Senko K. S., Sychugov I. G., Organization of subsystems for working with observations of objects in services using GEOSMIS technology, *Materialy 18-i Vserossiiskoi otkrytoi konferentsii "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (18th All-Russia Open Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, 16–20 Nov. 2020, IKI, Moscow, Book of abstr.), p. 82 (in Russian), DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
4. Konstantinova A. M., Loupian E. A., Bril A. A., Analysis of nitrogen dioxide concentration using satellite data as an indicator of air pollution in the context of large cities in Russia and the world), *Materialy 18-i Konf. molodykh uchenykh "Fundamental'nye i prikladnye kosmicheskie issledovaniya"* (18th Conf. Young Scientists "Fundamental and Applied Space Research", 14–16 Apr. 2021, IKI, Moscow, Book of abstr.), pp. 46–47 (in Russian).
5. Loupian E. A., Savin I. Yu., Bartalev S. A., Tolpin V. A., Balashov I. V., Plotnikov D. E., Satellite Service for Vegetation Monitoring VEGA, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 190–198 (in Russian).
6. Loupian E. A., Balashov I. V., Burtsev M. A., Efremov V. Yu., Kashnitsky A. V., Kobets D. A. Krasheninnikova Yu. S., Mazurov A. A., Nazirov R. R., Proshin A. A., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Flitman E. V., Development of information systems design technologies, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 53–75 (in Russian).
7. Loupian E. A., Senko K. S., Balashov I. V., *ObjectsSurveysSMIS_les*, Certificate of state registration of software No. 2016662696 (RU), Reg. 21.11.2016, Opubl. 21.11.2016.
8. Loupian E. A., Proshin A. A., Bourtsev M. A., Kashnitskii A. V., Balashov I. V., Bartalev S. A., Konstantinova A. M., Kobets D. A., Mazurov A. A., Marchenkov V. V., Matveev A. M., Radchenko M. V., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 151–170 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
9. Loupian E. A., Konstantinova A. M., Balashov I. V., Kashnitskii A. V., Savorskiy V. P., Panova O. Yu., Development of a system for analyzing the state of environment in areas of large industrial facilities, tailings and dumps, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 7, pp. 243–261, DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-243-261 (in Russian).
10. Marchenkov V. V., Uvarov I. A., Development of tools for graphical analysis of data series in systems of the "Constellation-Vega" family, *Materialy 18-i Vserossiiskoi otkrytoi konferentsii "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (18th All-Russia Open Conference "Current problems in remote sensing of the Earth from space", Book of abstr.), 16–20 Nov. 2020, IKI, Moscow, p. 91 (in Russian), DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
11. Marchenkov V. V., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Analysis of data series in information systems of the "Constellation Vega" family, *Materialy 17-i Vserossiiskoi otkrytoi konferentsii "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (17th All-Russia Open Conference "Current problems in remote sensing of the Earth from space", 11–15 Nov. 2019, IKI, Moscow, Book of abstr.), p. 106 (in Russian), DOI: 10.21046/17DZZconf-2019a.
12. Mukhamedzhanov I. D., Konstantinova A. M., Loupian E. A., The use of satellite data for monitoring the rivers of the Amu Darya basin, *Materialy 6th konf. "Regional'nye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli"* (6th Intern. Scientific Conf. "Regional Problems of Remote Sensing of the Earth", 29 Sept. – 2 Oct. 2020, Krasnoyarsk, Book of abstr.), pp. 265–270 (in Russian).

13. Proshin A. A., Loupian E. A., Balashov I. V., Kashnitskiy A. V., Burtsev M. A., 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 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-9-27.
14. Proshin A. A., Konstantinova A. M., Loupian E. A., Tolpin V. A., Kashnitskiy A. V., Control system for calculating and displaying indicators on monitoring objects obtained on the basis of processing satellite data, *Materialy 18-i Vserossiiskoi otkrytoi konferentsii "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (18th All-Russia Open Conference "Current problems in remote sensing of the Earth from space", 16–20 Nov. 2020, IKI, Moscow, Book of abstr.), p. 96 (in Russian), DOI: 10.21046/18DZZconf-2020a.
15. Tolpin V. A., Balashov I. V., Efremov V. Yu., Loupian E. A., Proshin A. A., Uvarov I. A., Flitman E. V., 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 (in Russian).
16. Mukhamedzhanov I. D., Konstantinova A. M., Uvarov I. A., Capabilities of the "IKI-Monitoring" center for collective use in organizing the satellite monitoring of the Central Asian Region, *InterCarto*, *InterGIS*, 2020, Vol. 26, Pt. 2, pp. 376–383, DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-376-383.