

В.А. ЗЕЛЕНЦОВ, С.А. ПОТРЯСАЕВ
**АРХИТЕКТУРА И ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ
ИНФОРМАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И
ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ СЕРВИСОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

Зеленцов В.А., Потрысаев С.А. Архитектура и примеры реализации информационной платформы для создания и предоставления тематических сервисов с использованием данных дистанционного зондирования Земли.

Аннотация. В статье описаны основы построения и примеры практической реализации систем (платформ) для создания и предоставления тематических сервисов с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Принципиальными особенностями таких систем должны являться, во-первых, возможность интеграции территориально распределенных информационных ресурсов, включающих разнородные наземно-космические данные и расчетно-аналитические модули; во-вторых, максимально полная автоматизация этих процессов, обеспечивающая взаимодействие с неподготовленным (в смысле информационных технологий) пользователем. Показано, что базовым подходом для создания таких систем может являться сервис-ориентированная архитектура. На основе сравнительного анализа существующих и перспективных информационных технологий проведен выбор необходимого состава компонентов информационной платформы для создания и предоставления тематических сервисов (ИПТС). Конструктивность и реализуемость предложенного подхода демонстрируется на примерах практической апробации ИПТС при создании тематических сервисов.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования Земли, информационная платформа, тематический сервис, сервис-ориентированная архитектура, междисциплинарность.

1. Введение. В настоящее время одной из существенных проблем, связанных с развитием космической деятельности, является разрыв между нарастающими объемами данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и их реальным использованием для решения задач мониторинга и управления развитием территорий. Управление развитием территорий — это сфера целенаправленной деятельности специалистов в области государственного и муниципального управления по обеспечению устойчивого и сбалансированного воспроизводства социального, хозяйственного и природного потенциалов территории, направленная прежде всего на повышение уровня жизни населения. Успех в этой деятельности определяется в значительной степени наличием и возможностью использования объективных данных о состоянии природных и природно-технологических объектов, находящихся в сфере ответственности соответствующих специалистов и руководителей. В этом смысле данные ДЗЗ могут являться ценным

источником необходимой для управления информации, однако до настоящего времени, как отмечается на многочисленных форумах по обсуждению данной проблематики, они таким источником не стали.

К числу основных причин имеющегося разрыва относится недостаточный уровень созданных к настоящему времени информационно-аналитических систем (платформ), которые могли бы обеспечивать разработку и предоставление продуктов и услуг, основанных на использовании данных ДЗЗ, для государственного и муниципального управления. Существующие в РФ и за рубежом (в том числе и находящиеся на сегодняшний день в разработке системы) [1-10], как правило, отличаются перегруженностью пользовательских интерфейсов, ориентированы на интерактивный или ручной режим работы и требуют высокой специальной квалификации пользователей для подбора, обработки необходимых данных, моделирования, и интерпретации результатов. Такие требования являются явно избыточными, когда речь идет о специалистах-практиках, принимающих оперативные решения по управлению, в том числе и в условиях дефицита времени в чрезвычайных ситуациях.

Снижение требований к пользователю означает, прежде всего, необходимость максимально полной автоматизации обработки данных и предоставления результатов обработки в виде тематических сервисов. Под тематическим сервисом понимается веб-сервис, обеспечивающий интегрированную обработку данных ДЗЗ и других пространственных и непространственных данных, выполненную в соответствии с алгоритмом решения конкретной тематической задачи, и предоставление результатов пользователю. Примерами тематических сервисов являются: выявление изменений на территории, прогноз наводнений, определение степени загрязнения водоема, выявление неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения и другие [11]. Необходимо отметить, что в данной статье проводится анализ состояния вопроса именно применительно к управлению территориальным развитием, и не затрагиваются многочисленные направления разработок сервисов в области метеорологии, океанологии, анализа состояния атмосферы и других, где также активно используются данные ДЗЗ, но требования к пользователям и уровню автоматизации обработки данных и интерпретации результатов могут существенно отличаться от рассматриваемых.

Разработка тематических сервисов для управления развитием территорий является комплексной задачей и предполагает совместное, интегрированное использование данных ДЗЗ, а также результатов наземных измерений, расчетно-аналитических и прогнозных моделей,

средств визуализации результатов и других. Создание каждого такого сервиса, интегрирующего разнородные, и, как правило, территориально распределенные информационные ресурсы — это, по сути, выполнение междисциплинарного проекта, требующего привлечения разработок из целого спектра научно-технологических областей.

Ключевыми проблемами здесь являются, во-первых, необходимость создания теоретической базы для автоматического (интеллектуального) выбора типов и настройки параметров разнородных моделей, необходимых для решения каждой конкретной задачи по управлению развитием территорий; во-вторых, обоснование архитектуры информационных систем и состава технологий, необходимых для реализации всего комплекса требований к формированию и предоставлению тематических сервисов. Первая из данных проблем решается в рамках активно развиваемого в настоящее время научного направления — квалитетрии моделей и полимодельных комплексов [12, 13]. В неразрывной связи с этим направлением в СПИИРАН развиваются и информационные технологии для создания и функционирования систем, обеспечивающих реализацию полного цикла работ по формированию сервисов в максимально автоматизированном режиме, включая заказ, получение, обработку разнородных данных, моделирование и предоставление результатов пользователю. Именно этому направлению посвящена данная статья.

В настоящее время отечественные [1-3] и зарубежные [4-10] поставщики сервисов на базе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предлагают широкую номенклатуру тематических продуктов для работы с наборами пространственных данных, которые формируются на основе ручного или автоматизированного дешифрирования космоснимков специалистами. При этом динамически создаваемые данные в основном представляют собой геопривязанный документооборот (как с ручной привязкой, так и на основе ГЛОНАСС/GPS мониторинга). При необходимости интеграции с вспомогательными данными, сторонними информационными и информационно-аналитическими ресурсами, эта работа производится также в ручном либо полуавтоматическом режиме для каждой конкретной задачи потребителя. Такая технология предполагает достаточно высокую квалификацию пользователей в области ГИС и обработки ДЗЗ и не обеспечивает реализацию в автоматическом (или максимально автоматизированном) режиме полного цикла обработки данных и моделирования, необходимого для поддержки принятия решений по управлению развитием территорий. Кроме того, нерешенной остается проблема отчуждения программной реализации

моделей в той или иной предметной области от разработчиков при необходимости включения этих моделей в контур решения тематической задачи для управления, поскольку при существующих подходах требуется локализация необходимых моделей на рабочем месте соответствующего специалиста, который формирует полный цикл работы с данными ДЗЗ. То же касается и источников вспомогательных данных, в частности, результатов наземных измерений, которые, как правило, локализованы в конкретных административно-территориальных образованиях либо отраслевых организациях по профилю решаемых задач.

В рассматриваемом в данной статье подходе основной акцент сделан на формировании автоматических процессов полного цикла — от заказа данных ДЗЗ до предоставления конечного результата пользователю. При этом каждый из участвующих в процессе обработки данных информационно-аналитических ресурсов может оставаться на своем месте локализации без физического перемещения на рабочее место «решателя» конкретной задачи.

Необходимо отметить, что наиболее близкими по замыслу к данным технологиям являются разрабатываемые под управлением Европейского космического агентства информационные платформы под общим названием Thematic Exploitation Platforms (TEPs) [14]. Однако и в них, судя по имеющимся на сегодняшний день прототипам, предполагается активное привлечение квалифицированного специалиста предметной области для получения конечного результата.

2. Функции информационной платформы. Как уже отмечалось, информационное обеспечение поддержки принятия решений по управлению развитием территорий требует не только поставки данных ДЗЗ, но и создания высокоуровневых сервисов для оценивания динамики развития территории, прогнозирования изменения параметров состояния природно-технологических объектов, а также организации информационно-технологического взаимодействия с информационно-аналитическими системами (ИАС) отраслей и органов власти.

В целом проведенный авторами при выполнении ряда прикладных проектов анализ [11] показал, что информационная платформа для создания тематических сервисов (ИПТС) при своем функционировании должна обеспечивать решение задач:

– обобщенного анализа на уровне территориально-административного образования и автоматизированного формирования требований к составу и характеристикам данных ДЗЗ, необходимых для решения задач управления;

- формирования заказа данных ДЗЗ в соответствии с заданными потребителями требованиями по предоставлению сервисов и поставке тематических продуктов;
- информационно-технологического взаимодействия с поставщиками данных ДЗЗ в ходе заказа и предоставления данных;
- интеграции данных ДЗЗ с необходимыми информационно-аналитическими ресурсами (базами данных наземных измерений, расчетно-аналитическими модулями, сторонними информационными системами без ограничения территориальной удаленности и принадлежности);
- информационно-технологического взаимодействия с ИАС органов власти, а также необходимыми отраслевыми информационными системами;
- взаимодействия с конечными пользователями при заказе и предоставлении сервисов и тематических продуктов, разрабатываемых с использованием данных ДЗЗ;
- формирования банка геоинформационных и тематических продуктов, созданных с использованием данных ДЗЗ;
- информационно-технологического взаимодействия с внешними системами мониторинга и предоставления ДДЗЗ.

3. Выбор типа архитектуры ИПТС. Перечисленные функции ИПТС формируют требования к архитектуре программного комплекса, основными из которых, как следует из данного перечня, являются способность интеграции разнородных территориально распределенных информационных ресурсов при создании и функционировании тематических сервисов, максимально полная автоматизация этих процессов и возможность развития и наращивания функциональных возможностей ИПТС при появлении новых перспективных технологий взаимодействия информационных систем и обработки данных.

К настоящему времени известны следующие основные подходы к созданию систем подобного назначения [15]:

- монолитная архитектура;
- модульная архитектура;
- компонентная архитектура;
- клиент-серверная архитектура;
- сервис-ориентированная архитектура.

Широко распространенные приложения с монолитной архитектурой [16, 17] просты в реализации, управлении и развертывании, обеспечивают высокую согласованность программного кода, явное управление вычислительным процессом и единый контроль ошибок. Но

данный тип архитектуры актуален для небольших информационных систем, локализованных на одном вычислительном ресурсе.

Для более сложных программных комплексов применяется модульная архитектура [16, 18]. Лежащая в ее основе декомпозиция приложения упрощает процесс разработки, обслуживания и последующей модернизации комплексов. Развитие модульной архитектуры привело к появлению понятия «плагин» — независимо компилируемый программный модуль, динамически подключаемый к основной программе и предназначенный для расширения ее функциональности. Аналогичный подход используется в компонентной архитектуре [19], которая позволяет строить более сложные информационные системы за счет использования отлаженных «строительных блоков» программного кода. Основная идея компонентного подхода — повторное использование кода. В рамках этой архитектуры предъявляются повышенные требования к универсальности подключаемых модулей. Итогом развития компонентной архитектуры стало появление программных библиотек с широким набором универсальных функций. Однако компонентная архитектура, как и монолитная, предназначена для построения локализованных программных комплексов.

Основная особенность рассматриваемой ИПТС состоит в необходимости сопряжения ряда независимо разработанных территориально распределенных разнородных программных комплексов обработки, каталогизации, архивирования, хранения данных ДЗЗ и соответствующих информационных продуктов, региональных информационно-аналитических систем поддержки принятия решений при управлении развитием территорий, и так далее. То есть главным вопросом является не столько способы декомпозиции приложения, сколько способ организации взаимодействия разнородных модулей через информационно-коммуникационные сети. Основы сетевого взаимодействия модулей программного обеспечения были заложены в клиент-серверной архитектуре [20]. В узком смысле в качестве компонентов этой архитектуры рассматриваются пользовательский клиент, реализующий основную логику работы, и серверная часть, представленная СУБД или файл-сервером. В широком смысле клиент-серверная архитектура описывает любое взаимодействие двух и более распределенных программных модулей. Однако наиболее полно такое взаимодействие воплощено в идеологии сервис-ориентированной архитектуры (Service Oriented Architecture).

Сервис-ориентированная архитектура (COA) реализует модульный подход к разработке программного обеспечения, основанный на использовании распределенных, слабо связанных

заменяемых компонентов, оснащенных стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам [21]. Данный подход предназначается для построения сложных распределенных информационных систем на базе интеграции веб-сервисов. При этом интеграция осуществляется на уровне протоколов без понимания обеими взаимодействующими сторонами внутреннего устройства другой стороны. Это обеспечивает так называемую слабую связность модулей (веб-сервисов). Использование сервисов позволяет обеспечивать логическое разделение приложения на модули за счет явного физического разделения по аппаратным средствам (серверам). Благодаря этому становится возможным использование разных языков программирования, инструментов взаимодействия, мониторинга и хранения данных, что позволяет оптимизировать инфраструктуру ИПТС путем подбора лучшего программно-аппаратного решения для каждого конкретного сервиса.

Сервис-ориентированная архитектура на сегодняшний день может быть представлена в «классическом» виде и в формате микросервисов. При этом «классический» сервис-ориентированный подход уже закрепился в определенной нише корпоративных информационных систем, а микросервисная архитектура в последнее время стремительно набирает популярность [22-25]. Причиной этому стало развитие контейнерной виртуализации и практики активного взаимодействия специалистов по разработке и специалистов по информационно-технологическому обслуживанию («практика DevOps»), направленной на автоматизацию разработки программного обеспечения и его масштабируемости.

Однако повышение удобства разработки и эксплуатации микросервисов повлекли за собой отказ от некоторых базовых возможностей, присутствующих изначально в «классической» сервис-ориентированной архитектуре. В частности, интеграция на уровне протоколов взаимодействия в SOA, или так называемое «разделение контракта», позволяет сервису и его потребителям развиваться отдельно, но сохранять согласованное описание интерфейса взаимодействия. Микросервисная архитектура не поддерживает разделение контрактов, хотя это является одной из главных возможностей сервис-ориентированной архитектуры. И именно эта возможность является наиболее перспективной с точки зрения создания систем интеграции разнородных информационных ресурсов при формировании тематических сервисов на базе данных ДЗЗ.

В таблице приведены рассмотренные типы архитектур информационных систем и их применимость для реализации функций информационной поддержки управления развитием территорий. Символы «+», «+/-» и «-» обозначают степень предназначенности или удобства применения той или программной архитектуры для реализации какой-либо функции.

Анализ приведенной таблицы показывает, что монолитная и компонентная архитектуры пригодны для реализации расчетных задач, связанных с формированием требований к материалам съемки и самого заказа, а также могут быть использованы для создания соответствующего пользовательского интерфейса.

Таблица 1. Применимость архитектур информационных систем

Функция системы \ Тип архитектуры	Монолитная	Компонентная	Клиент-серверная	Микросервисы	COA
Обобщенный анализ и автоматизированное формирование требований к составу и характеристикам данных ДЗЗ	+	+	+	+	+
Формирование заказа для поставщиков данных ДЗЗ в соответствии с заданным потребителями требованиями	+	+	+	+	+
Информационно-технологическое взаимодействие с поставщиками ДДЗЗ	-	-	+	+	+
Интеграция данных ДЗЗ с необходимыми информационно-аналитическими ресурсами	-	-	-	-	+
Информационно-технологическое взаимодействие с ИАС органов власти и другими информационными системами	-	-	-	-	+
Взаимодействие с конечными пользователями при заказе и предоставлении сервисов и тематических продуктов	+	+	+	+	+
Формирование банка геоинформационных и тематических продуктов, созданных с использованием данных ДЗЗ	-	-	+	+	+
Информационно-технологическое взаимодействие с внешними системами мониторинга и предоставления данных ДЗЗ	-	-	-	-	+

Клиент-серверная архитектура в узком смысле (СУБД или файл-сервер и «толстый» клиент) может быть применена как для решения этих задач, так и для предоставления данных из хранилищ.

Используя архитектуру микросервисов, удобно решать все задачи, стоящие перед ИПТС, кроме взаимодействия со сторонними информационными системами, в том числе зарубежными. Причиной этого является, как уже упоминалось, отсутствие в архитектуре микросервисов «разделения контракта» и ориентированность его на работу внутри предприятия.

Сервис-ориентированная архитектура изначально была нацелена на интеграцию разнородных распределенных приложений и имеет все соответствующие инструменты для описания их стандартизированного взаимодействия.

4. Основные компоненты СОА при создании распределенных информационных систем. Как следует из проведенного анализа, СОА *потенциально* является наиболее приемлемым архитектурным решением для построения распределенных информационных систем, подобных ИПТС. Однако не менее важным является вопрос возможности *практической реализации* СОА для решения перечисленных выше задач. И здесь требуется более глубокий анализ и оценивание возможностей программно-технологических компонентов, обеспечивающих реализацию потенциальных преимуществ СОА.

Наиболее принципиальными вопросами являются способ подключения разнородных модулей в СОА и организация их взаимодействия при формировании и предоставлении каждого конкретного тематического сервиса.

По первому из вопросов необходимо отметить, что СОА не предписывает никакого способа организации информационного потока между множеством сервисов, кроме соединения приложений по принципу «точка-точка». Такое взаимодействие приводит к возникновению проблемы стремительного роста сложности системы при добавлении новых ее участников. Вместо этого целесообразно создавать инфраструктуру для информационного обмена так, чтобы сторонние программные комплексы подключались в виде модулей к универсальному управляющему приложению, организующему вычислительные процессы решения прикладных задач потребителей, а сам информационный обмен строился на принципах событийно-ориентированной архитектуры.

Событийно-ориентированный подход в распределенных информационных системах практически может быть реализован в виде сервисной шины предприятия (Enterprise Service Bus) [26-28]. Она

предоставляет централизованный и унифицированный событийно-ориентированный обмен сообщениями между различными компонентами информационной системы. Обмен сообщениями между различными системами происходит через единую точку, обеспечивающую транзакционный контроль, преобразование данных, аудит сообщений. Принципиальным с точки зрения построения ИПТС и обеспечения независимого функционирования разнородных модулей является тот факт, что при изменении какого-либо компонента информационной системы, подключенного к сервисной шине, нет необходимости в перенастройке остальных подсистем.

В целом функционирование ИПТС на базе сервисной шины предоставляет следующие возможности:

- поддержка синхронного и асинхронного способа вызова веб-служб, что позволяет работать с системами с непредсказуемым временем реакции (в том числе включающие ручной труд);
- использование защищенного транспорта с гарантированной доставкой сообщений, поддерживающего транзакционную модель;
- синтез вычислительных процессов с контролем исполнения и их реконфигурацией;
- доступ к данным из сторонних информационных систем с помощью готовых или специально разработанных адаптеров;
- обработка и преобразование сообщений.

По второму из сформулированных вопросов, касающихся способа реализации СОА, следует заметить, что концепция сервисной шины предоставляет возможность организации синтеза вычислительных процессов, но напрямую не декларирует путь реализации этой возможности. Для описания автоматического управления набором сервисов в зарубежной литературе используется термин «оркестровка веб-служб» [29]. «Оркестровка» описывает то, как сервисы должны взаимодействовать между собой, используя для этого обмен сообщениями, включая бизнес-логику и последовательность действий. В сервис-ориентированной архитектуре оркестровка сервисов реализуется согласно стандарту Business Process Execution Language (WS-BPEL) [30, 31]. За последнее десятилетие WS-BPEL зарекомендовал себя как эффективный язык для описания логики работы приложений, основанных на распределенных веб-сервисах. Применение этого языка позволяет организовать логику взаимодействия модулей и веб-сервисов при решении каждой конкретной прикладной задачи, используя в том числе визуальный редактор. Тем самым обеспечивается визуальное конструирование

алгоритмов работы с данными с задействованием различных источников и сервисов.

Организация взаимодействия с различными веб-сервисами и сторонними информационными системами требует систематизации и унификации доступа к ним. Общепринятым способом упорядочения хранения информации об однородных объектах, к которым можно отнести и сервисы, является *создание реестра*. В информационной системе с сервис-ориентированной архитектурой основной информацией о сервисе является его метаданные, которые имеют стандартизированный вид и представлены в виде описания на языке WSDL. Кроме хранения метаданных, реестр сервисов должен предоставлять возможность их поиска. Существенным требованием к реестру сервисов является возможность машинного (автоматического) поиска требуемого сервиса по запрашиваемому согласованному типу интерфейса и заданным формальным признакам с возможностью его последующей автоматической интеграции в вычислительный процесс. Указанным требованиям удовлетворяет платформу-независимый протокол универсального описания, поиска и интеграции веб-сервисов — UDDI [32, 33]. При работе в окружении веб-сервисов, поддерживаемых различными организациями, немаловажно хранить и учитывать информацию о поставщике сервиса и ответственных за его функционирование лицах.

Реестр сервисов структурно организован в виде трех разделов [34]:

1. «Белые страницы» предоставляют информацию о поставщике услуг, такую как название компании, описание услуги. Эта информация может быть использована для поиска сервиса, принадлежащего конкретной организации. Также предусмотрена возможность предоставления контактной информации, например номера телефона ответственного лица.

2. «Желтые страницы» содержат классификацию службы или бизнеса на основе стандартных таксономий. Рекомендуемые в стандарте таксономии не используются для классификации услуг в отечественных информационных системах, поэтому целесообразно использовать собственные классификаторы.

3. «Зеленые страницы» используются для описания способа получения доступа к веб-службам и информации о привязанных услугах, таких как адрес услуги и параметры, ссылки на спецификации интерфейсов.

Структура реестра UDDI дает возможность реализовать полный цикл управления сервисами «публикация — поиск — связывание», ориентированный прежде всего на автоматическую динамическую

реконфигурацию ИПТС вследствие изменяющейся обстановки и воздействия факторов неопределенности. То есть информационная система способна автоматически поддерживать заданный уровень качества функционирования за счет ее изначальной структурно-функциональной избыточности и автоматического выбора рабочей конфигурации при отказе (или невозможности использования) отдельных ее модулей. Это означает, что использование реестра сервисов может являться технологической основой для реализации интеллектуального выбора типа и настройки параметров разнородных моделей на базе подходов, развиваемых в упомянутой выше квалиметрии моделей и полимодельных комплексов, при решении тематических задач с использованием данных ДЗЗ.

5. Структура ИПТС на базе СОА. Как уже отмечалось, источники данных для ИПТС могут быть территориально и организационно значительно распределены, а необходимые прикладные модули разработаны на различных языках программирования и функционировать на различных аппаратно-программных платформах.

В соответствии с этим, а также учитывая проведенный анализ и выбор информационно-технологических решений для реализации необходимой функциональности на базе СОА, ИПТС должна включать в свой состав структурные компоненты, показанные на рисунке 1.



Рис. 1. Структура ИПТС

Представленные на рисунке компоненты обеспечены необходимым составом стандартов и протоколов для их полнофункциональной реализации применительно к существующим на сегодняшний день технологиям взаимодействия информационных систем.

Следует отметить, что одним из базовых принципов создания и функционирования ИПТС является необходимость обеспечения взаимодействия с поставщиками данных с отечественных и зарубежных космических аппаратов (КА), а также с информационно-аналитическими системами органов власти местного, регионального и федерального уровней для взаимного обмена данными и результатами решения задач поддержки управленческой деятельности. Для организации такого взаимодействия и обеспечения максимальной автоматизации решения прикладных задач внешние системы также должны удовлетворять ряду требований, основными из которых являются наличие программного интерфейса, то есть возможности взаимодействия без участия пользователя, выполнение разделения данных и их представления, а также наличие механизмов автоматической аутентификации.

6. Примеры реализации ИПТС на базе сервис-ориентированной архитектуры. В настоящее время в СПИИРАН реализованы все основные компоненты ИПТС, показанные на рисунке 1, включая модули заказа и каталогизации космической съемки, реализующие процедуры обработки данных ДЗЗ, поступающих с КА Ресурс-П 1, 2, 3 КШМСА, ГЕОТОН, Гиперспектр; Канопус-В и БКА.

Состав формируемых тематических сервисов включает в настоящее время более 20 наименований по направлениям: лесопользование, сельское хозяйство, чрезвычайные ситуации и так далее, и постоянно увеличивается. Сервисы основаны на использовании материалов как российских, так и зарубежных КА ДЗЗ.

Принципиальная возможность создания программных интерфейсов на основе СОА, обеспечивающих интеграцию с внешними источниками данных, разнородными информационно-аналитическими модулями и системами была продемонстрирована при разработке и апробации ряда прототипов для решения задач управления развитием территорий муниципальных образований, оперативного прогнозирования наводнений, обнаружения изменений состояния лесного покрова, водных объектов и ряда других [11]. В этих системах были задействованы источники данных ДЗЗ и наземных измерений, в том числе зарубежные. Главной особенностью созданных прототипов является возможность их работы полностью в автоматическом режиме

за счет организации взаимодействия территориально распределенных разнородных веб-сервисов.

Так, например, при реализации системы оперативного прогнозирования наводнений использовались следующие архитектурные и программные решения:

- сервисная шина, представленная программным продуктом OpenESB;

- интерпретатор сценария на языке BPEL, встроенный в сервисную шину OpenESB;

- программное обеспечение для отображения данных по стандартам веб-картографии GeoServer;

- система управления базой пространственных данных PostgreSQL с дополнением PostGIS;

- сервер администрирования на базе Python;

- сервис сбора данных с гидрологических датчиков (расположен на удаленном сервере №1);

- сервис прогнозирования значений параметров гидродинамических процессов;

- сервис, управляющий работой расчетной гидродинамической модели (расположен на удаленном сервере №2);

- сервис обработки и интерпретации результатов расчетов (расположен на удаленном сервере №3);

- пользовательский веб-интерфейс в виде прогрессивного веб-приложения (под прогрессивными понимаются веб-приложения, использующие стек веб-технологий и объединяющие простоту использования веб-сайта со специфичными для нативных приложений техническими возможностями [35]), адаптированного для работы на стационарных и мобильных пользовательских терминалах и обеспечивающего выполнение принципиального требования о необходимости минимизации специальных знаний потребителя для работы с информационными системами.

Созданный прототип системы оперативного прогнозирования наводнений выполняет в автоматическом режиме полный цикл моделирования: от сбора исходных данных с гидрологических датчиков до обновления результатов прогнозирования в пользовательском интерфейсе. Координацию работы всех подсистем и сервисов осуществляет интерпретатор BPEL процессов посредством сервисной шины. Доступ к информации с гидрологических датчиков предоставляется в формате JSON, расчетные сервисы взаимодействуют по стандартам веб-сервисов используя формат сообщений SOAP. В результате работы системы в базе пространственных данных

формируются записи, которые преобразуются геосервером в формат WMS и поставляются в пользовательский интерфейс. Сам интерфейс предоставляет конечному пользователю необходимый минимум инструментов для работы с результатами прогнозирования: строка поиска пространственных данных, перечень отображаемых в данный момент данных, временная шкала для работы с темпоральными данными. Таким образом, вся сложность, связанная с использованием разнородных территориально распределенных информационных систем, скрыта от пользователя за счет полной автоматизации вычислительного процесса. Это позволяет использовать систему не только специалистам с высоким уровнем знаний в области ГИС и информационных технологий, но и специалистам в предметной области (гидрологии), а также другим пользователям, заинтересованным в результатах прогноза наводнений (службы по чрезвычайным ситуациям, органы исполнительной власти, коммерческие организации и граждане).

Обобщенная схема системы оперативного прогнозирования наводнений представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Обобщенная схема системы оперативного прогнозирования наводнений

Все данные, с которыми работает система, хранятся в битемпоральной базе данных [36]. В ее основе лежит темпоральная (временная) модель данных (ТМД), позволяющая хранить сведения о жизненном цикле данных. ТМД применяется для хранения как исходных данных (гидрометеорологических), так и результатов моделирования. Битемпоральность означает хранение как

времени актуальности определенных данных, так и транзакционного времени (момент записи данных в хранилище).

Использование битемпоральной базы данных обеспечивает как оперативную работу системы мониторинга наводнений, так и работу в режиме моделирования «по прошлому» и сценарного моделирования. Таким образом выполняется анализ обоснованности принятых решений в прошлом с учетом имеющейся информации на заданный момент времени.

Доступ пользователя к темпоральным данным реализован в виде временной шкалы в веб-интерфейсе. Используя этот механизм, пользователь может просматривать различные данные (исходные, исторические и прогнозируемые) без специальных знаний (например, формального языка запросов), просто перемещая ползунок шкалы.

Разработанный прототип системы прошел апробацию при выполнении СПИИРАН ряда проектов на территории РФ и за рубежом.

Наиболее показательны результаты, полученные во время наводнения 2013 г. на реке Даугава (Латвия) в районе г. Даугавпилса. Здесь в качестве гидрологического модуля была использована одна из версий одномерной модели LISFLOOD-FP [37, 38]. Тестовое моделирование проводилось в 2013 г. на участке реки Даугавы протяженностью около 20 км. Верификация гидродинамической модели осуществлялась на основе использования космических снимков с КА «Radarsat-1».

Система прошла испытания, проработав весь период весеннего половодья автоматически, без участия человека.

Созданная подсистема визуализации выполняла несколько этапов постобработки полученных результатов моделирования. Прежде всего, растровая карта затопления автоматически векторизовалась для обеспечения совместимости со сторонними геоинформационными системами. Векторная карта и соответствующая метка времени моделирования автоматически сохранялись в базе данных для формирования архива информации о динамике наводнения.

Второй этап визуализации — размещение результатов моделирования на геопортале. Данный сервис предоставлял возможность просмотра слоев с контурами затопления от начала процесса моделирования до двенадцатичасового прогноза. При этом допускалось наложение слоев, соответствующих различным меткам времени, для наглядного представления динамики развития наводнения (рисунок 3).



Рис. 3. Анализ зон затоплений путем перемещения слайдера временной шкалы

Аналогичный механизм реализован для анализа возможных зон затоплений при различных уровнях подъема воды (рисунок 4).



Рис. 4. Анализ возможных сценариев затоплений с помощью вертикальной шкалы

Основным итогом апробации стало подтверждение достаточно высокой точности работы прототипа системы: прогноз затопления значимых объектов инфраструктуры совпал с реальными данными не менее чем на 95%.

В РФ система прошла апробацию в 2014-2017 гг. при выполнении проектов применительно к территории на участке русла реки Северная Двина от г. Великий Устюг до г. Котлас. Здесь в качестве гидродинамического блока использовалась отечественная разработка — двумерная модель STREAM 2D [39, 40], в качестве данных ДЗЗ использовались материалы съемки КА «Ресурс-П».

Результаты сравнения прогнозных и реальных (на основе обработки данных ДЗЗ с КА «Ресурс-П» от 18.04.2016) контуров затоплений, рассчитанных по данным 2016 г., показаны на рисунке 5. Здесь также точность прогноза, оцененная, как и выше, по составу объектов инфраструктуры, попадающих в зону затопления, составила не менее 90 %.

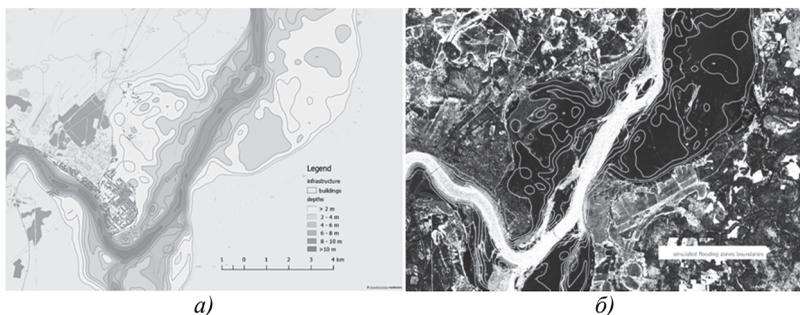


Рис. 5. Сравнение результатов моделирования (а) с актуальными границами зон затоплений (б)

Пример пользовательского интерфейса другой разработанной системы — обнаружения изменений состояния водных объектов — приведен на рисунке 6.

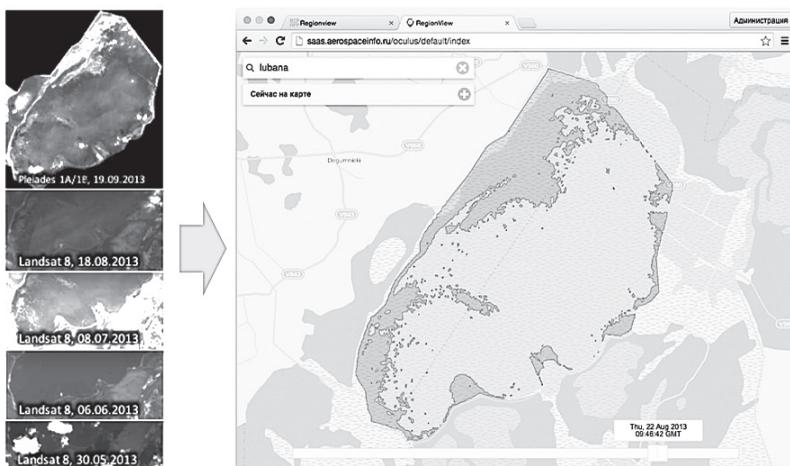


Рис. 6. Пользовательский интерфейс системы обнаружения изменений состояния водных объектов

7. Перспективные технологии интеграции распределенных информационных ресурсов. Одним из важнейших преимуществ предложенного подхода к архитектурному построению ИПТС является возможность реализации не только отработанных и хорошо известных сегодня (как это показано в предыдущей части статьи), но и перспективных технологий интеграции разнородных систем.

Их разработка вызвана стремительным ростом числа организаций, предоставляющих данные и сервисы на их основе. Вместе с этим, растет

количество предоставляемых поставщиками типов данных и выполняемых функций, увеличивая сложность каждого задействованного программного интерфейса. В таких условиях ручное согласование взаимодействия с использованием программной документации и интуиции разработчиков становится затруднительным или практически невозможным в процессе синтеза новых распределенных информационных систем. Ряд рассмотренных ниже современных технологий направлен на автоматизацию сопряжения на программном уровне ранее не взаимодействующих друг с другом интерфейсов.

Так, одним из перспективных направлений развития взаимодействия информационных систем является создание методов постепенного согласования программного интерфейса без предварительных знаний об удаленной системе на базе технологии HATEOAS («Hypermedia As The Engine Of Application State» — Гипермедиа как механизм управления состояниями приложения) [41]. Эта технология кратко может быть описана следующим образом: клиентское приложение имеет единую точку входа, сервер на каждый запрос возвращает только гипермедиа ресурсы, то есть те, которые содержат как полезные данные, так и гиперссылки на другие ресурсы гипермедиа. При этом разнородные системы не имеют сведений о структуре программного интерфейса, а формируют их в ходе взаимодействия.

Большие надежды возлагаются на новый язык формирования запросов к программному интерфейсу — GraphQL [42]. Состав результата запроса диктуется клиентом и содержит только необходимый набор данных. Запрос оформляется в форме иерархического набора полей, а ответ приходит в формате JSON с заполнением полей необходимыми данными. У сервера GraphQL можно запросить список поддерживаемых типов и получить сведения о возможностях предоставляемого сервером программного интерфейса без необходимости изучения кода и спецификаций.

Значительным шагом в направлении повышения семантической емкости данных стало появление единой схемы семантической разметки Schema.org [43]. Инициатива была запущена в 2011 году компаниями Google, Microsoft и Yahoo, чуть позже к ней присоединилась российская компания Яндекс. Основной целью Schema.org является помощь в создании метаданных для улучшения качества их поиска. Но в контексте интеграции разнородных систем эта схема семантической разметки рассматривается как универсальная онтология, представляющая утверждения о ресурсах в виде, пригодном для машинной обработки.

Указанная онтология применяется, например, в новой, но уже хорошо зарекомендовавшей себя, технологии JSON-LD («JavaScript Object Notation for Linked Data» — объектная нотация JavaScript для связанных данных) [44]. JSON-LD использует понятие контекста, который связывает свойства объектов в JSON-документе с элементами онтологии. Благодаря этому разнородные информационные системы получают возможность обмениваться значимыми данными (точнее говоря, уже информацией) без предварительного согласования технического интерфейса между собой.

Кроме информационных технологий общего назначения, применительно к обработке данных ДЗЗ и тенденциям повышения семантической емкости данных наблюдается развитие отраслевых спецификаций, изложенных, в частности, в трудах «Рабочей группы по пространственным данным в Интернете» [45], созданной совместно Консорциумом Всемирной паутины (World Wide Web Consortium, W3C) и Открытым геопространственным консорциумом (Open Geospatial Consortium, OGC). В документах этой рабочей группы активно обсуждается Семантическая сеть сенсоров и ее применение для работы с данными дистанционного зондирования Земли [46]. Семантическая сеть сенсоров — это набор технологий Семантической паутины (Semantic web), адаптированный для работы с данными, поставляемыми разнородными сенсорами. Доступ ко всем возможностям разрабатываемой семантической сети сенсоров определяется наличием возможности работать с онтологиями, в частности «Semantic Sensor Network Ontology».

Описанные выше технологии, встроенные в сервисную шину, способствуют расширению круга поставщиков данных и сервисов, которые могут быть привлечены для решения прикладных задач на базе ИПТС за счет упрощения этапа согласования взаимодействия, вплоть до автоматического поиска нового источника данных и машинного анализа его программного интерфейса.

В целом в результате анализа рассмотренных направлений развития технологий интеграции разнородных информационных систем и перспектив их реализации при создании ИПТС можно сделать следующие выводы. Данные технологии к настоящему моменту еще не вышли на продуктивный уровень и не стали повсеместными, поэтому их применение в ИПТС в данный момент требует дополнительной проработки. С другой стороны, очевидно, что в ближайшие годы произойдут существенные изменения в способе организации программных интерфейсов. В связи с этим необходимо отметить, что предлагаемая архитектура построения ИПТС на базе СОА не является принципиальным препятствием для возможного будущего внедрения

рассмотренных перспективных технологий. За счет ориентации на гибкость и эволюционное развитие в ней заложены механизмы постепенного перехода на новые технологии с одновременной работой вновь создаваемых и унаследованных информационных систем.

8. Заключение. Проведенный анализ существующих и перспективных технологий интеграции распределенных информационных ресурсов при решении задач поддержки принятия решений по управлению развитием территорий с использованием данных ДЗЗ показал, что в качестве базового подхода к созданию ИПТС целесообразно использовать сервис- и событийно-ориентированные архитектуры в сочетании с технологиями платформи-независимого универсального описания, автоматического поиска и интеграции веб-сервисов. Каждая из рассмотренных технологий в отдельности имеет известные реализации, однако их совместное применение предложено и описано впервые. Приведенные примеры и результаты апробации показывают, что применение такого подхода обеспечивает полную реализацию необходимой функциональности ИПТС и выполнение базовых требований к подобным системам, прежде всего: способности интеграции разнородных территориально распределенных информационных ресурсов при создании и функционировании тематических сервисов, максимально полной автоматизации этих процессов, простоты для пользователя и возможности развития и наращивания функциональных возможностей ИПТС при появлении новых перспективных технологий взаимодействия информационных систем и обработки данных. При проведении дальнейших исследований планируется конкретизация классов задач, для которых предложенные технологические решения являются наиболее эффективными.

Литература

1. Геоаналитика агро. URL: <http://agro.geoanalitika.com/ru/> (дата обращения: 25.08.2017).
2. КосмосАгро. URL: <http://new.scanex.ru/geo-service/kosmosagro/> (дата обращения: 25.08.2017).
3. ВЕГА-PRO. URL: <http://pro-vega.ru/> (дата обращения: 25.08.2017).
4. Copernicus Land Monitoring Service. URL: <http://copernicus.eu/main/land-monitoring> (accessed: 25.08.2017).
5. Copernicus Emergency Management Service. URL: <http://emergency.copernicus.eu/> (accessed: 25.08.2017).
6. Copernicus Marine Environment Monitoring Service. URL: <http://marine.copernicus.eu> (accessed: 25.08.2017).
7. Copernicus Atmosphere Monitoring Service. URL: <http://atmosphere.copernicus.eu> (accessed: 25.08.2017).
8. Copernicus Climate Change Service. URL: <http://climate.copernicus.eu> (accessed: 25.08.2017).

9. DigitalGlobe EnhancedView Web Hosting Service. URL: <https://www.digitalglobe.com/products/enhancedview-web-hosting> (accessed: 25.08.2017).
10. Fire Information for Resource Management System. URL: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms> (accessed: 25.08.2017).
11. Официальный сайт лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании. URL: <http://litsam.ru/index.php/ru/homepage-ru/projects-ru/> (дата обращения: 25.08.2017).
12. *Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Применение алгебраического подхода в квалиметрии моделей и полимодельных комплексов // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2013). Сб. докладов VI научно-практической конференции. Казань: Фэн, 2013. Т. 1. С. 68–79.
13. *Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Неокибернетика в современной структуре системных знаний // Робототехника и техническая кибернетика. 2014. № 2. С. 3–11.
14. Official Thematic Exploitation Platforms website. URL: <https://tep.eo.esa.int/> (дата обращения: 25.08.2017).
15. *Советов Б.Я., Водяхо А.И., Дубенецкий В.А., Цехановский В.В.* Архитектура информационных систем // М.: Издательский центр «Академия». 2012. 288 с.
16. Гринфилд Дж. и др. Фабрики разработки программ: потоковая сборка типовых приложений, моделирование, структуры и инструменты: пер. с англ. // М.: ООО "И.Д. Вильямс". 2007. 592 с.
17. *Gouïgoux J. P., Tamzalit D.* From Monolith to Microservices: Lessons Learned on an Industrial Migration to a Web Oriented Architecture // Proceedings of IEEE International Conference on Software Architecture Workshops (ICSAW'2017). 2017. pp. 62–65.
18. *Календарев А.* Современная веб-архитектура. От монолита к микросервисам // Системный администратор. 2017. № 1-2. С. 80–83.
19. *Richards M.* Software Architecture Patterns // O'Reilly Media, Inc. 2015. 47 p.
20. *Oluwatosin H.S.* Client-Server Model // IOSRJ Comput. Eng. 2014. vol. 16. no. 1. pp. 2278–8727.
21. *Paik H. et al.* Web Service Implementation and Composition Techniques // Springer International Publishing. 2017. 256 p.
22. *Ньюмен С.* Создание микросервисов // СПб.: Питер. 2016. 304 с.
23. *Kwan A., Jacobsen H.-A., Chan A., Samoojh S.* Microservices in the modern software world // Proceedings of the 26th Annual International Conference on Computer Science and Software Engineering (CASCON '16). 2016. pp. 297–299.
24. *Bakshi K.* Microservices-based software architecture and approaches // Proceedings of the IEEE Aerospace Conference. 2017. pp. 1–8.
25. *Артамонов Ю.С., Востокин С.В.* Разработка распределенных приложений сбора и анализа данных на базе микросервисной архитектуры // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 4-4. С. 688–693.
26. *Сысолетин Е.Г., Аксенов К.А., Круглов А.В.* Интеграция гетерогенных информационных систем современного промышленного предприятия // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 335.
27. *Кочанов П. А., Кадиоров Р. В., Надвоцкая В. В.* Построение общего информационного пространства предприятия // Ползуновский альманах. 2016. № 2. С. 157–159.
28. *He W., Xu L.D.* Integration of Distributed Enterprise Applications: A Survey // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2014. vol. 10. no. 1. pp. 35–42.
29. *Wang Y.* A formal model of QoS-aware web service orchestration engine // IEEE Transactions on Network and Service Management. 2016. vol. 13. no. 1. pp. 113–125.

30. *Ting-Huan K., Chi-Hua C., Hsu-Yang K.* Applications of the web service middleware framework based on the BPEL // Proceedings of the IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics. 2016. pp. 1–5.
31. *Некрасов М.В., Белов В.В.* Формирование требований к информационной системе предприятия // Cloud of Science. 2015. Т. 2. № 2. С. 282–301.
32. *Dai Y., Feng Y., Zhao Y., Huang Y.* A method of UDDI service subscription implementation // Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS'2014). 2014. pp. 661–666.
33. *Польская О.В., Кудерметов П.К., Шкарутло В.В.* Обнаружение и выбор Web-сервисов // Электротехнические и компьютерные системы. 2015. № 19. С. 169–173.
34. *Никитюк В.А.* Усовершенствование модели реестра web-сервисов // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2014. № 5. С. 98–104.
35. *Gustafson A.* Adaptive web design: crafting rich experiences with progressive enhancement // New Riders. 2015. 264 p.
36. *Тоноян С.А., Сараев Д.В.* Темпоральные модели базы данных и их свойства // Электронный журнал: наука и инновации: Электронное научно-техническое издание. 2014. № 12. С. 36.
37. LISPLOOD-FP. University of Bristol, School of Geographical Sciences, Hydrology Group. URL: <http://www.bristol.ac.uk/geography/research/hydrology/models/lisflood/> (дата обращения: 06.04.2017).
38. *Sokolov B.V. et al.* Operational flood forecasting as a web-service // Proceedings of the 29-th European conference on modelling and simulation (ECMS 2015). 2015. pp. 364–370.
39. Беликов В.В., Кочетков В.В. Программный комплекс STREAM_2D для расчета течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2014612181. Российское агентство по интеллектуальной собственности. 2014.
40. *Алабян А.М. и др.* Создание интеллектуальных информационных систем оперативного прогнозирования речных наводнений // Вестник Российской академии наук. 2016. Т. 86. № 2. С. 127–137.
41. *Patri S.* Pro RESTful APIs // Apress. 2017. 126 p.
42. *Samer B.* Learning GraphQL and Relay // Packt Publishing. 2016. 218 p.
43. *Liyang Yu.* A Developers Guide to the Semantic Web: 2nd edition. // Springer Publishing Company, Incorporated. 2014. 608 p.
44. A JSON-based Serialization for Linked Data. URL: <https://www.w3.org/TR/json-ld> (дата обращения: 24.04.2017).
45. W3C and OGC to Collaborate to Integrate Spatial Data on the Web. URL: <https://www.w3.org/2015/01/spatial.html> (дата обращения: 24.04.2017).
46. Publishing and Using Earth Observation Data with the RDF Data Cube and the Discrete Global Grid System. URL: <https://w3c.github.io/isdw/eo-qb> (дата обращения: 24.04.2017).

Зеленцов Вячеслав Алексеевич — д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: системный анализ, теория надежности, модели и методы принятия решений в сложных организационно-технических системах с использованием аэрокосмических данных. Число научных публикаций — 300. v.a.zelentsov@gmail.com, <http://litsam.ru>; 14-я линия В.О., 39, Санкт-Петербург, 199178; р.т.: +7(812)328-0103, Факс: +7(812)328-4450.

Потрясаев Семен Алексеевич — к-т техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: системный анализ и исследование операций, теория управления структурной динамикой сложных организационно-технических систем. Число научных публикаций — 90. spotryasaev@gmail.com, <http://litsam.ru>; 14-я линия В.О., 39, Санкт-Петербург, 199178; р.г.: +7(812)328-0103, Факс: +7(812)328-4450.

Поддержка исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке Программ НТС Союзного государства «Мониторинг-СГ» (проект 1.4.1-1) и «Технология-СГ» (проект 06/НИР/2017), грантов РФФИ (№№16-08-00510, 16-07-00925, 1717-06-00108, 15-07-08391, 15-08-08459, 16-07-00779, 16-08-01277), госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/К, в рамках бюджетных тем №№0073–2014–0009, 0073–2015–0007, ведущих университетов Российской Федерации: СПбГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074–U01). Исследования по разделам 4,6 проводились при финансовой поддержке гранта РНФ №17-11-01254.

V.A. ZELENTSOV, S.A. POTRIASAEV
**ARCHITECTURE AND EXAMPLES OF IMPLEMENTING THE
 INFORMATIONAL PLATFORM FOR CREATION AND
 PROVISION OF THEMATIC SERVICES USING EARTH REMOTE
 SENSING DATA**

Zelentsov V.A., Potriasaev S.A. Architecture and Examples of Implementing the Informational Platform for Creation and Provision of Thematic Services Using Earth Remote Sensing Data.

Abstract. The article describes the basics of the design and examples of practical implementation of systems (platforms) for creating and providing thematic services using Earth remote sensing data. The principal features of such systems should be, firstly, the possibility of integrating territorially distributed information resources, including heterogeneous ground-space data and calculation and analysis modules, and secondly, the fullest possible automation of these processes, ensuring interaction with untrained (in the sense of information technologies) user. It is shown that a service-oriented architecture can be the basic approach to creating such systems. Based on a comparative analysis of existing and promising information technologies, the necessary components of the Thematic Services Information Platform (TSIP) were selected. The constructiveness and feasibility of the proposed approach is demonstrated on the examples of practical testing of TSIP when creating thematic services.

Keywords: Earth remote sensing data, information platform, thematic service, service-oriented architecture, interdisciplinarity.

Zelentsov Viacheslav Alekseevich — Ph.D., Dr. Sci., professor, chief researcher of laboratory for information technologies in systems analysis and modeling, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: analyses of systems, reliability theory, mathematical models and methods of decision-making support in complex technical-organizational systems with the use of aerospace data. The number of publications — 300. v.a.zelentsov@gmail.com, <http://litsam.ru>; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7(812)328-0103, Fax: +7(812)328-4450.

Potryasaev Semen Alekseevich — Ph.D., senior researcher of laboratory for information technologies in systems analysis and modeling, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: system analysis and operations research, theory of managing the structural dynamics of complex organizational and technical systems. The number of publications — 90. spotryasaev@gmail.com, <http://litsam.ru>; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7(812)328-0103, Fax: +7(812)328-4450.

Acknowledgements. The research was supported by the Programs of scientific and technical cooperation of the Union State "Monitoring-SG" (project 1.4.1-1) and "Technology-SG" (project 06 / NRI / 2017), RFBR grants (Nos. 16-08-00510, 16-07-00925, 1717-06-00108, 15-07-08391, 15-08-08459, 16-07-00779, 16-08-01277), the state assignments of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 2.3135.2017 / K, within the framework of budgetary topics Nos. 0073-2014-0009, 0073-2015-0007, leading universities of the Russian Federation: SPbSPU (activity 6.1.1), ITMO (subsidy 074-U01). Researches on sections 4, 6 were carried out with the financial support of the RSF grant No.17-11-01254.

References

1. Geoanalitika agro. [Geoanalitika.Agro]. Available at: <http://agro.geoanalitika.com/en/> (accessed: 25.08.2017). (In Russ.).
2. KosmosAgro [CosmosAgro]. Available at: <http://new.scanex.ru/geoservice/kosmosagro/> (accessed: 25.08.2017). (In Russ.).
3. VEGA-RRO [VEGA-PRO]. Available at: <http://pro-vega.ru/> (accessed: 25.08.2017). (In Russ.).
4. Copernicus Land Monitoring Service. Available at: <http://copernicus.eu/main/land-monitoring> (accessed: 25.08.2017).
5. Copernicus Emergency Management Service. Available at: <http://emergency.copernicus.eu/> (accessed: 25.08.2017).
6. Copernicus Marine Environment Monitoring Service. Available at: <http://marine.copernicus.eu> (accessed: 25.08.2017).
7. Copernicus Atmosphere Monitoring Service. Available at: <http://atmosphere.copernicus.eu> (accessed: 25.08.2017).
8. Copernicus Climate Change Service. Available at: <http://climate.copernicus.eu> (accessed: 25.08.2017).
9. DigitalGlobe EnhancedView Web Hosting Service. Available at: <https://www.digitalglobe.com/products/enhancedview-web-hosting> (accessed: 25.08.2017).
10. Fire Information for Resource Management System. Available at: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms> (accessed: 25.08.2017).
11. Oficial'nyj sajt laboratorii informacionnyh tehnologij v sistemnom analize i modelirovanii [Official site of Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling]. Available at: <http://litsam.ru/index.php/en/homepage-en/portfolio> (accessed: 25.08.2017). (In Russ.).
12. Mikoni S.V., Sokolov B.V., Jusupov R.M. [The application of the algebraic approach in the qualimetry of models and multimodel complexes]. *Imitacionnoe modelirovanie. Teorija i praktika (IMMOD-2013). Sb. dokladov VI nauchno-praktičeskoj konferencii.* [The Sixth All-Russia Scientific-Practical Conference on Simulation and its Application in Science and Industry «Simulation. The Theory and Practice» (IMMOD-2013)]. 2013. vol. 1. pp. 68–79. (In Russ.).
13. Sokolov B.V., Jusupov R.M. [Neo-cybernetics in the modern structure of system knowledge]. *Robototehnika i tehničeskaja kibernetika – Robotics and Technical Cybernetics.* 2014. vol. 2. pp. 3–11. (In Russ.).
14. Official Thematic Exploitation Platforms website. Available at: <https://tep.eo.esa.int/> (accessed: 25.08.2017).
15. Sovetov B.Ja., Vodjaho A.I., Dubeneckij V.A., Cehanovskij V.V. *Arhitektura informacionnyh sistem* [Architecture of information systems]. M.: Izdatel'skij centr «Akademija». 2012. 288 p. (In Russ.).
16. Greenfield J. et al. *Software Factories: Assembling Applications with Patterns, Models, Frameworks, and Tools.* John Wiley & Sons. 2004. 666 p. (Russ. ed.: Grinfil'd Dzh. et al. *Fabriki razrabotki programm: potokovaja sborka tipovyh prilozhenij, modelirovanie, struktury i instrumenty: per. s angl.* M.: OOO "I.D. Vil'jams". 2007. 592 p.).
17. Gouigoux J.P., Tamzalit D. From Monolith to Microservices: Lessons Learned on an Industrial Migration to a Web Oriented Architecture. Proceedings of IEEE International Conference on Software Architecture Workshops (ICSAW'2017). 2017. pp. 62–65.
18. Kalendarev A. [Modern web architecture. From monolith to micro services]. *Sistemnyj administrator – System Administrator.* 2017. vol. 1-2. pp. 80–83. (In Russ.).
19. Richards M. Software Architecture Patterns. O'Reilly Media, Inc. 2015. 47 p.

20. Oluwatosin H.S. Client-Server Model. *IOSRJ Comput. Eng.* 2014. vol. 16. no. 1. pp. 2278–8727.
21. Paik H. et al. Web Service Implementation and Composition Techniques // Springer International Publishing, 2017. 256 p.
22. N'jumen S *Sozdanie mikroservisov* [Creation of microservices]. SPb.: Piter. 2016. 304 p. (In Russ.).
23. Kwan A., Jacobsen H.-A., Chan A., Samooj S. Microservices in the modern software world. Proceedings of the 26th Annual International Conference on Computer Science and Software Engineering (CASCON '16). 2016. pp. 297–299.
24. Bakshi K. Microservices-based software architecture and approaches. Proceedings of the IEEE Aerospace Conference. 2017. pp. 1–8.
25. Artamonov Yu.S., Vostokin S.V. [Development of distributed applications for data collection and analysis based on microservice architecture]. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk – Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016. vol. 18. no. 4-4. pp. 688–693. (In Russ.).
26. Sysoletin E.G., Aksenov K.A., Kruglov A.V. [Integration of heterogeneous information systems of a modern industrial enterprise]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija – Modern problems of science and education*. 2015. vol. 1-1. pp. 335. (In Russ.).
27. Kochanov P.A., Kadirov R.V., Nadvockaja V.V. [Construction of the general information space of the enterprise]. *Polzunovskij al'manah – Polzunovskij almanac*. 2016. vol. 2. pp. 157–159. (In Russ.).
28. He W., Xu L.D. Integration of Distributed Enterprise Applications: A Survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2014. vol. 10. no. 1. pp. 35–42.
29. Wang Y. A formal model of QoS-aware web service orchestration engine // *IEEE Transactions on Network and Service Management*. 2016. vol. 13. no. 1. pp. 113–125.
30. Ting-Huan K., Chi-Hua C., Hsu-Yang K. Applications of the web service middleware framework based on the BPEL. Proceedings of the IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics. 2016. pp. 1–5.
31. Nekrasov M.V., Belov V.V. [Formation of requirements for the information system of the enterprise]. *Cloud of Science*. 2015. vol. 2. no. 2. pp. 282–301. (In Russ.).
32. Dai Y., Feng Y., Zhao Y., Huang Y. A method of UDDI service subscription implementation. Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS'2014). 2014. pp. 661–666.
33. Pol'skaja O.V., Kudermetov R.K., Shkarupilo V.V. [Detection and selection of Web services]. *Jelektrotehnicheskie i komp'juternye sistemy – Electrotechnic and computer systems*. 2015. vol. 19. pp. 169–173. (In Russ.).
34. Nikitjuk V.A. [Improvement of the model of the register of web-services]. *Visnik Kremenčuc'kogo nacional'nogo universitetu imeni Mihajla Ostrogradskogo – Transactions of Kremenčuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University*. 2014. vol. 5. pp. 98–104. (In Russ.).
35. Gustafson A. Adaptive web design: crafting rich experiences with progressive enhancement. *New Riders*. 2015. 264 p.
36. Tonojan S.A., Saraev D.V. [Temporal models of the database and their propertie]. *Jelektronnyj zhurnal: nauka i innovacii: Jelektronnoe nauchno-tehnicheskoe izdanie – Engineering Journal: Science and Innovation*. 2014. vol. 12. pp. 36. (In Russ.).
37. LISPFLLOOD-FP. University of Bristol, School of Geographical Sciences, Hydrology Group. Available at: <http://www.bristol.ac.uk/geography/research/hydrology/models/lisflood/> (accessed: 06.04.2017).
38. Sokolov B.V. et al. Operational flood forecasting as a web-service. Proceedings of the 29-th European conference on modelling and simulation (ECMS 2015). 2015. pp. 364–370. (In Russ.).

39. Belikov V.V., Kochetkov V.V. *Programmnyj kompleks STREAM_2D dlja raschjota techenij, deformacij dna i perenosa zagrijaznenij v otkrytyh potokah* [The program complex STREAM_2D for the calculation of currents, deformations of the bottom and transfer of pollution in open streams]. Certificate of state registration of computer programs no. 2014612181. Rossijskoe agentstvo po intellektual'noj sobstvennosti, 2014. (In Russ.).
40. Alabjan A.M. et al. [Creation of intelligent information systems for operational forecasting of river floods]. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk – Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2016. Issue 86. vol. 2. pp. 127–137. (In Russ.).
41. Patni S. *Pro RESTful APIs*. Apress. 2017. 126 p.
42. Samer B. *Learning GraphQL and Relay*. Packt Publishing. 2016. 218 p.
43. Liyang Yu. *A Developers Guide to the Semantic Web: 2nd edition*. Springer Publishing Company, Inc. 2014. 608 p.
44. A JSON-based Serialization for Linked Data. Available at: <https://www.w3.org/TR/json-ld> (accessed: 24.04.2017).
45. W3C and OGC to Collaborate to Integrate Spatial Data on the Web. Available at: <https://www.w3.org/2015/01/spatial.html> (accessed: 24.04.2017).
46. Publishing and Using Earth Observation Data with the RDF Data Cube and the Discrete Global Grid System. Available at: <https://w3c.github.io/sdw/eo-qb> (accessed: 24.04.2017).