

## МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ СИСТЕМ С СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

В.А.ЗЕЛЕНЦОВ

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН)  
14 линия В.О., 39, Санкт-Петербург, 199178, Российская Федерация*

*Поступила в редакцию*

**Аннотация.** В статье описаны основы построения и примеры практической реализации систем (платформ) для мониторинга и прогнозирования состояния природно-технологических объектов с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Показано, что базовым подходом для создания таких систем может являться сервис-ориентированная архитектура. Конструктивность и реализуемость предложенного подхода демонстрируется на примерах практической апробации разработанной системы при создании тематических сервисов.

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

**Abstract.** The article describes the basics of design and examples of practical implementation of systems (platforms) for monitoring and forecasting the state of natural-technological objects using Earth remote sensing data. It is shown that a service-oriented architecture can be the basic approach for creating such systems. The constructiveness and feasibility of the proposed approach is demonstrated on the examples of practical testing of the developed system when creating thematic services.

*Keywords:* monitoring, forecasting, Earth remote sensing data, information platform, thematic service, service-oriented architecture.

### Введение

Природные и природно-технологические объекты (ПТО) различного типа являются в настоящее время предметом пристального исследования в связи с усложнением создаваемых инфраструктурных, энергетических, гидротехнических, и т.д., комплексов, повышением внимания к процессам их взаимодействия с окружающей средой, с одной стороны, и ростом масштабов и негативных последствий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) и стихийных бедствий, с другой.

Под ПТО здесь понимается совокупность природных, природно-техногенных и техногенных объектов, условия существования которых взаимосвязаны и взаимозависимы. Применение этого термина отражает общую тенденцию развития глобальных техногенных процессов, приводящих к тому, что биосфера Земли трансформируется в биотехносферу, элементами которой являются отдельные и связанные между собой ПТО.

Одной из основных проблем мониторинга и прогнозирования состояния ПТО является необходимость разработки и применения моделей различного класса для описания процессов их функционирования в обычных условиях и при возникновении чрезвычайных ситуаций, а также потребность в максимально полной автоматизации всего цикла моделирования – от сбора исходных данных до выдачи рекомендаций лицу, принимающему решения (ЛПР).

Комбинированное использование разнородных методов и алгоритмов, т.е. переход к комплексному моделированию, с выбором и настройкой параметров наиболее

предпочтительных для каждой конкретной ситуации моделей, позволяет взаимно компенсировать объективно существующие недостатки и ограничения отдельных моделей, одновременно усиливая их положительные качества. Вместе с набором преимуществ, которые предоставляет комплексное моделирование ПТО, возникает и ряд проблем, связанных с его автоматизацией. Главная из них состоит в необходимости в процессе моделирования осуществлять согласование (координацию) используемых моделей, методов и алгоритмов на концептуальном, модельно-алгоритмическом, информационном и программном уровнях, и их выбор.

Теоретические основы для решения данной проблемы разрабатываются в настоящее время в рамках нового научно направления, называемого квалиметрией моделей и полимодельных комплексов. Однако не менее важной задачей является практическая реализация предлагаемых подходов к комплексному моделированию, выбор и обоснование конструктивных путей создания соответствующих программных средств и информационных ресурсов для мониторинга и прогнозирования состояния ПТО.

При создании подобных программных систем и платформ необходимо обеспечивать интегрированную обработку как наземных, так и дистанционных (аэрокосмических) данных, а также учитывать целый ряд требований, которые определяют возможности их использования при решении конкретных задач анализа ПТО, управления развитием территорий, анализа рисков ЧС и информационно-аналитической поддержки действий при возникновении ЧС.

Существующие 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 завышенными, когда речь идет о специалистах-практиках, принимающих оперативные решения по управлению, в том числе и в условиях дефицита времени в чрезвычайных ситуациях.

### **Концептуальный подход к построению систем мониторинга и прогнозирования состояния ПТО**

На рис. 1 на примере мониторинга гидроэлектростанции (ГЭС) и окружающей ее среды представлена главная проблема, с которой приходится сталкиваться на практике при оценивании и упреждающем прогнозировании состояния ПТО. Суть данной проблемы связана с отсутствием необходимого модельно-алгоритмического, информационного, технического, технологического обеспечения *интеграции* поступающих в реальном масштабе времени разнородных данных и информации *об отдельных компонентах* данных состояний. В этих условиях операторы (лица, принимающие решения — ЛПР) вынуждены в своих головах (на основе технической документации, экспертных знаний и т. п.) воссоздавать целостный образ управляемой системы (ГЭС), а также причинно-следственных связей, определяющих ее состояние и сценарии развития внешней обстановки.

Временные задержки и ошибки в управлении, вызванные неверным решением задач оценивания или мониторинга состояний ПТО, могут привести к необратимым негативным последствиям — срыву выполнения возлагаемых на них задач, отказам, различным по своим последствиям авариям и катастрофам. В наибольшей степени эта проблема обостряется при возникновении нештатных ситуаций, вызванных различными внешними и внутренними факторами. В большинстве случаев процедуры мониторинга состояния ПТО в таких ситуациях не автоматизированы.

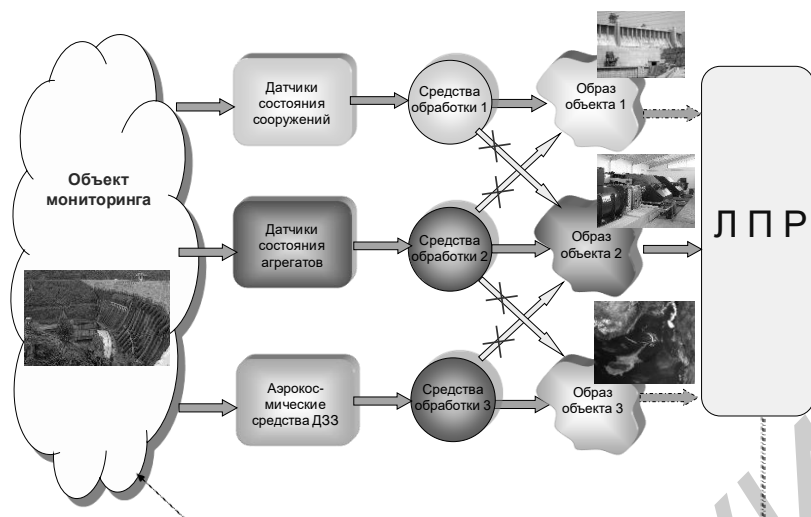


Рис. 1. Существующая информационная технология наземно-космического мониторинга состояния ПТО.

В предлагаемом докладе представлены основные результаты, которые были получены при поиске конкретных путей решения проблем комплексной автоматизации мониторинга и прогнозирования состояний ПТО. Разработанная технология и соответствующие системы мониторинга и поддержки принятия решений при управлении базируются на комбинированном использовании логических, лингвистических и математических моделей и методов, обеспечивающих параллельную, распределенную обработку и анализ в реальном времени разнородной измерительной информации, а также упреждающее предсказательное комплексное моделирование развивающейся ситуации. Главное достоинство и отличительная черта разработок состоит в том, что их использование обеспечивает на конструктивном уровне интеграцию данных, информации и знаний, получаемых из различных источников при мониторинге и управлении ПТО. На рис. 2 показано, как на основе единой среды обработки и анализа данных, созданной на основе применения предлагаемой технологии, формируется целостный образ объекта мониторинга.

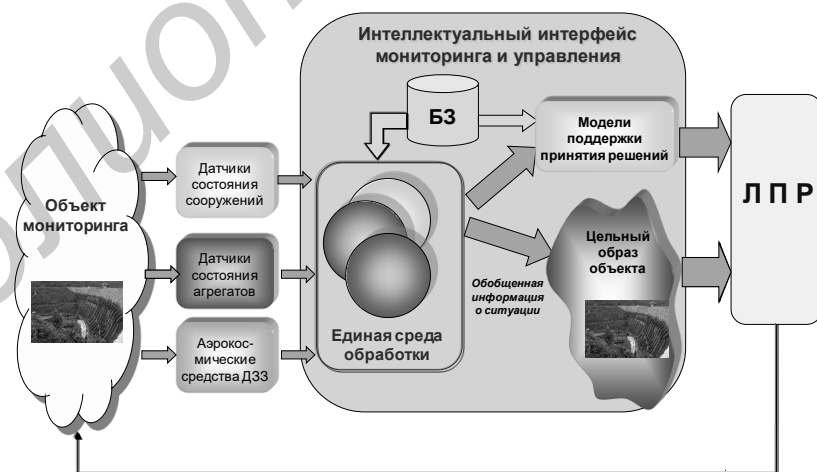


Рис. 2. Предлагаемая интеллектуальная информационная технология наземно-космического мониторинга состояния ПТО.

### Архитектура систем мониторинга и прогнозирования состояния ПТО

Снижение требований к пользователю и интеллектуализация рассматриваемых системозначает, 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.

Разработка тематических сервисов является комплексной задачей и предполагает совместное, интегрированное использование данных ДЗЗ, а также результатов наземных измерений, расчетно-аналитических и прогнозных моделей, средств визуализации результатов, и др. 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, и, 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 – квалиметрии 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.

Проведенный анализ показал, что к числу наиболее приемлемых вариантов архитектурного построения систем мониторинга и прогнозирования состояний (СМП) ПТО является использование сервис-ориентированной архитектуры (СОА). Она реализует модульный подход к разработке программного обеспечения, основанный на использовании распределённых, слабо связанных заменяемых компонентов, оснащённых стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам [14]. Данный подход предназначен для построения сложных распределённых информационных систем на базе интеграции веб-сервисов. При этом интеграция осуществляется на уровне протоколов, без понимания обеими взаимодействующими сторонами внутреннего устройства другой стороны. Благодаря этому становится возможным использование разных языков программирования, инструментов взаимодействия, мониторинга и хранения данных, что позволяет оптимизировать инфраструктуру СМП путём подбора лучшего программно-аппаратного решения для каждого конкретного сервиса.

### **Примеры практической реализации СМП ПТО**

В настоящее время в СПИИРАН реализованы все основные компоненты СМП на базе СОА 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 т.д., и постоянно увеличивается. Сервисы основаны на использовании материалов российских, белорусских, европейских, и других 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. Главной особенностью созданных прототипов является возможность их работы полностью в автоматическом режиме за счёт организации взаимодействия территориально распределённых 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 удалённом сервере №1);
- сервис прогнозирования значений параметров гидродинамических процессов;
- сервис, управляющий работой расчётной гидродинамической модели;
- сервис обработки и интерпретации результатов расчётов;
- пользовательский веб-интерфейс в виде прогрессивного веб-приложения, 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.

Обобщенная схема системы оперативного прогнозирования наводнений представлена на рисунке 3.

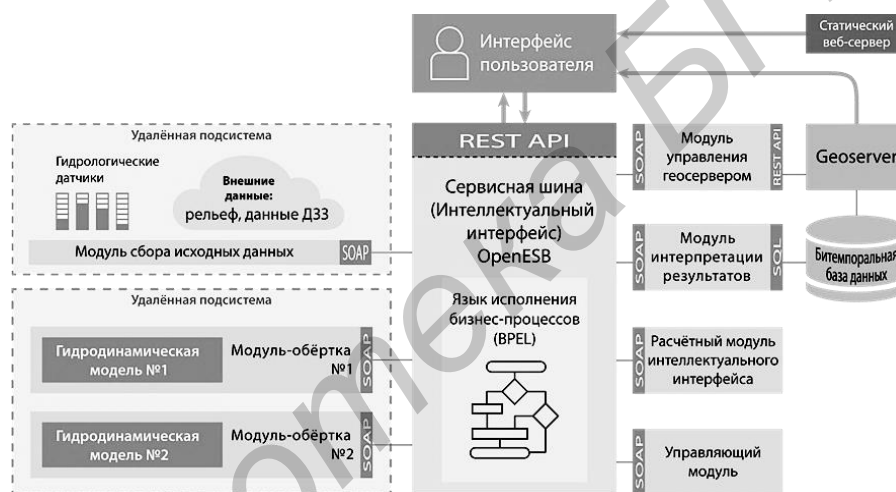


Рис. 3. Обобщенная схема системы оперативного прогнозирования наводнений

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.

Наиболее показательны результаты, полученные во время наводнения 2013 г. на реке Даугава (Латвия) в районе г. Даугавпилса. 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. 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 4).



Рис. 4. Анализ зон затоплений путем перемещения слайдера временной шкалы

Аналогичный механизм реализован для анализа возможных зон затоплений при различных уровнях подъема воды.

В РФ система прошла апробацию в 2014-2017 г.г. 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, по составу объектов инфраструктуры, попадающих в зону затопления, составила не менее 90 %.

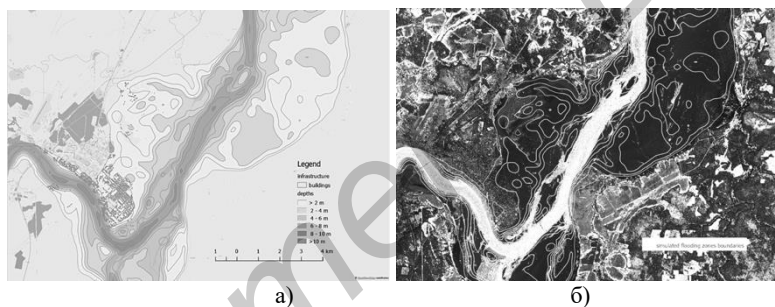


Рис.5. Сравнение результатов моделирования (а) с реальными границами зон затоплений (б)

Важным для практического применения системы является тот факт, что в результате прогноза визуализируются объекты инфраструктуры, попадающие в зону затоплений, формируются отчеты о потенциальном ущербе, а также обеспечивается автоматическое оповещение граждан и организаций – владельцев этих объектов.

### Заключение

Проведенный анализ существующих и перспективных технологий интеграции распределенных информационных ресурсов при решении задач мониторинга и прогнозирования состояния ПТО с использованием данных ДЗЗ показал, что в качестве базового подхода к созданию СМП целесообразно использовать сервис- и событийно-ориентированные архитектуры, в сочетании с технологиями платформу-независимого универсального описания, автоматического поиска и интеграции веб-сервисов. Результаты апробации показывают, что применение такого подхода обеспечивает полную реализацию необходимой функциональности СМП, и выполнение базовых требований к подобным системам. При этом вся сложность, связанная с использованием разнородных территориально распределённых информационных систем, скрыта от пользователя за счёт полной автоматизации вычислительного процесса. Это позволяет использовать систему не только специалистам с высоким уровнем знаний в области ГИС и информационных технологий и специалистам в предметной области (например, гидрологии), а также другим пользователям, заинтересованным в результатах прогноза наводнений (службам по чрезвычайным ситуациям, органам исполнительной власти, коммерческим организациям и гражданам).

## Поддержка исследований

Работа выполнена при финансовой поддержке 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. Исследования по системам прогнозирования наводнений проводились при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 17-11-01254.

## Список литературы

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. Сервис контроля за состоянием земной поверхности. URL: <http://copernicus.eu/main/1-and-monitoring> (дата обращения: 25.08.2017).
5. Сервис управления при чрезвычайных ситуациях. URL: <http://emergency.copernicus.eu/> (дата обращения: 25.08.2017).
6. Сервис контроля за состоянием морской среды. URL: <http://marine.copernicus.eu> (дата обращения: 25.08.2017).
7. Сервис контроля за состоянием атмосферы. URL: <http://atmosphere.copernicus.eu> (дата обращения: 25.08.2017).
8. Сервис мониторинга изменений климата. URL: <http://climate.copernicus.eu> (дата обращения: 25.08.2017).
9. Веб-хостинг DigitalGlobe с расширенными возможностями просмотра. URL: <https://www.digitalglobe.com/products/enhancedview-web-hosting> (дата обращения: 25.08.2017).
10. Информация о пожарах для системы управления ресурсами. URL: <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms> (дата обращения: 25.08.2017).
11. Интернет-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 (г. Казань, 16-18 октября 2013 г.). Т. 1. Казань: Фэн, 2013. 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. Paik H., Lemos A., Barukh M., Benatallah B., Natarajan A. Web Service Implementation and Composition Techniques // Springer International Publishing, 2017. 256 p.

### Сведения об авторах

Зеленцов Вячеслав Алексеевич — д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании СПИИРАН

### Information about the authors

Zelentsov V.A., Dr. Sc. Eng., Prof., Chief researcher, Laboratory for Information Technologies in Systems Analysis and Modeling, St. Petersburg Institute of Informatics and Automation of the RAS (SPIIRAS).

### Адрес для корреспонденции

199178, Российская Федерация, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., 39, СПИИРАН  
+7 812 328 0103  
e-mail: v.a.zelentsov@gmail.com  
Зеленцов Вячеслав Алексеевич

### Address for correspondence

199178, 39, 14 Line, St. Petersburg, Russian Federation, SPIIRAS  
+7 812 328 0103  
e-mail: v.a.zelentsov@gmail.com  
Zelentsov Viacheslav A.