

ПРОГРАММНЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ МОНИТОРИНГЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

И. Ю. ПИМАНОВ

*Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН,
199178, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: pimen@list.ru*

Представлены основные принципы разработки программно-инструментальных средств, обеспечивающих автоматизацию построения и функционирования распределенных систем комплексного моделирования с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Рассмотрены компоненты системы комплексного моделирования и описаны результаты апробации разработанной системы на примере мониторинга и прогнозирования наводнения на реке Северная Двина.

Ключевые слова: управление развитием территории, чрезвычайные ситуации, комплексное моделирование, сервис-ориентированная архитектура, дистанционное зондирование Земли из космоса

Введение. В настоящее время активно развиваются технологии и методы решения различных задач управления развитием территории, в том числе управления природными ресурсами, управления развитием муниципальных образований и др. Отдельное направление — управление территорией в режиме чрезвычайной ситуации (ЧС) в условиях дефицита времени, ресурсов и повышенной опасности для населения. На качество принятия решений в первую очередь влияют объем и характеристики исходных данных, в частности данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Однако вопросы оценивания качества измерительных данных, получаемых с помощью бортовой аппаратуры, и его влияния на результаты управления являются малоисследованными. На каждом из этапов получения и обработки данных ДЗЗ неизбежно возникают погрешности, приводящие к снижению эффективности решений по управлению территорией. Таким образом, анализ и определение требований к обеспечению качества данных является актуальной задачей, решение которой позволит существенно повысить эффективность управления территорией, в первую очередь, в чрезвычайных ситуациях.

Принципиально важной является постановка и решение этой задачи в контексте обоснования архитектуры и программной реализации информационно-аналитических систем анализа природных и природно-технологических объектов (ПШТО) при мониторинге и прогнозировании ЧС. Перспективные подходы к созданию таких систем базируются на комплексном моделировании сложных объектов, которое получило начальное развитие в научных школах отечественных ученых Н. Н. Моисеева, Г. С. Поспелова, Н. П. Бусленко и ряда других [1—3]. В последнее время фундаментальные основы активно развиваются в рамках нового научного направления — квалиметрии моделей и полимодельных комплексов, авторами которого являются ученые СПИИРАН Р. М. Юсупов и Б. В. Соколов [4—6].

Несмотря на перспективность этого направления исследований, обеспечивающего максимально полный учет при моделировании различных аспектов функционирования ПШТО, его практическое применение сдерживается отсутствием необходимых программно-инструментальных средств и методического обеспечения для обоснования общей архитектуры соот-

ветствующих систем и достижения требуемого качества исходных данных для моделирования, включая данные ДЗЗ.

Настоящая статья посвящена разработке и созданию программно-инструментальных средств, обеспечивающих автоматизацию построения и функционирования распределенных систем комплексного моделирования (СКМ), в частности чрезвычайных ситуаций, с использованием данных ДЗЗ.

Система комплексного моделирования. Как показывает анализ зарубежного опыта создания аналогичных систем, для решения поставленной задачи целесообразно привлечение большого количества скоординированно работающих разнопрофильных организаций. Подобный подход обоснован принципиально междисциплинарным характером, присущим процессу создания систем прогнозирования, и необходимостью взаимодействия специалистов в различных предметных областях.

В частности, для решения базовых гидрологических задач требуется участие специалистов в этой предметной области, а также специалистов по автоматизации моделирования и современным информационным технологиям, интегрированной обработке разнородных данных, в том числе данных дистанционного зондирования Земли. На основе такого взаимодействия коллективом лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании СПИИРАН при непосредственном участии специалистов Института водных проблем РАН (Москва) и МГУ им. М. В. Ломоносова разработана система краткосрочного прогнозирования наводнений [7—10]. Для определения состава системы выполнен анализ применимости различных архитектур СКМ и выбрана сервис-ориентированная архитектура (Service Oriented Architecture — SOA) как наиболее подходящая для реализации функций СКМ [11]. Обобщенная схема функционирования системы мониторинга и прогнозирования наводнений представлена на рис. 1.

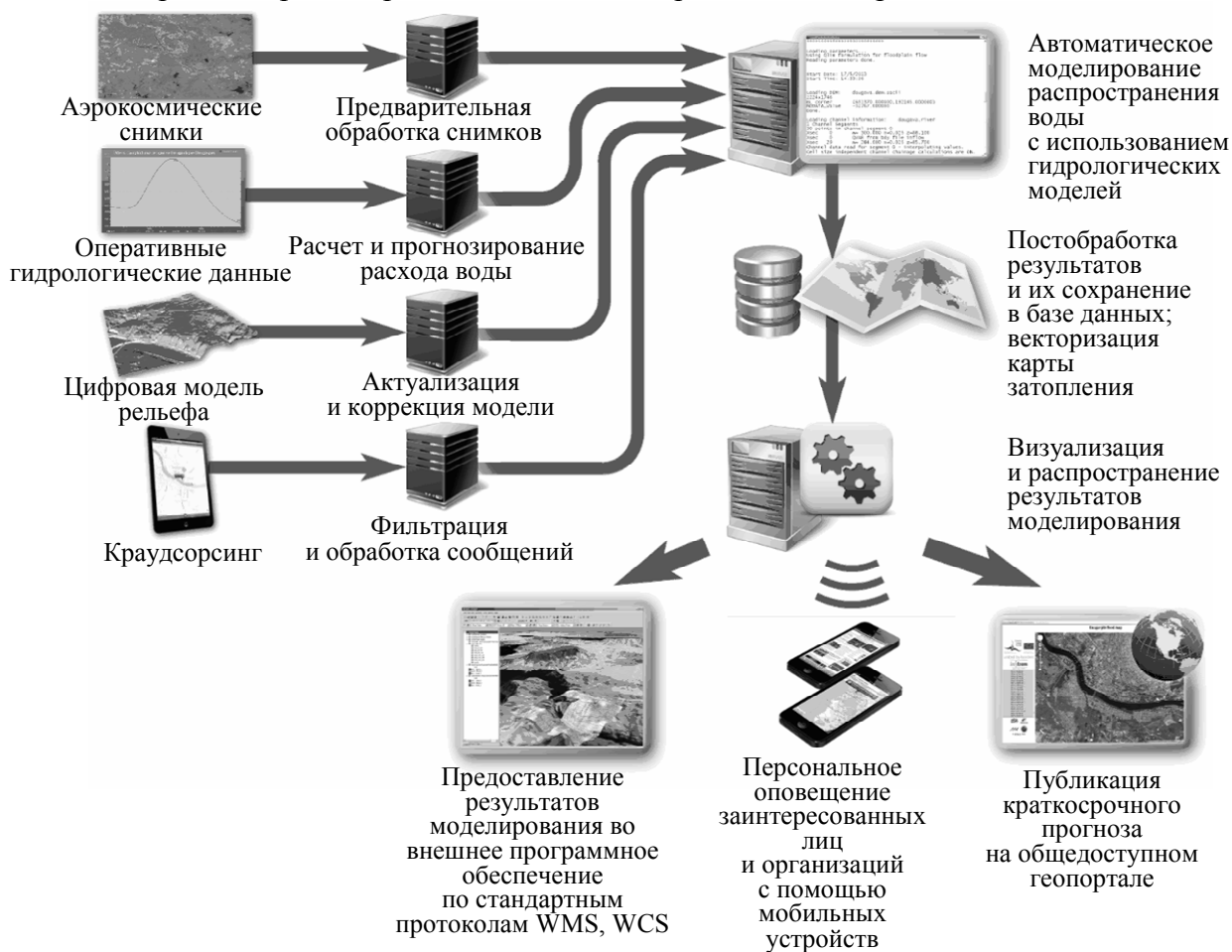


Рис. 1

При создании этой системы реализованы следующие основные принципы:

- интеграция разнородных данных (лидарная съемка, космическая съемка, результаты наземных гидрологических измерений);
- интеграция в систему неформализованной информации и знаний экспертов за счет применения технологий краудсорсинга;
- использование подсистемы интеллектуального выбора гидрологических моделей прогнозирования распространения воды;
- создание геоинформационных сервисов для визуализации результатов прогнозирования и оповещения заинтересованных лиц;
- использование открытых кодов при создании программного обеспечения;
- „облачная“ технология размещения элементов системы на территориях различных организаций, городов и стран;
- автоматический режим выполнения полного рабочего цикла, включающего этапы сбора данных, моделирования и визуализации результатов в установленном временном интервале без участия оператора.

Тип гидрологической задачи (к примеру, прогноз половодья, паводка, нагона или волны прорыва) и величина интервала прогноза определяются составом и объемом исходных данных. Для долгосрочного и среднесрочного прогноза необходимы большие объемы исходных данных, к которым относятся характеристики снежного, почвенного и растительного покрова, метеорологические характеристики и др. Результатами такого прогнозирования являются обобщенные оценки гидрологической обстановки на территории исследования, вероятные границы затопленных участков, соответствующие различным сценариям развития ситуации, гидравлические параметры водного потока на участке затопления.

Степень достоверности исходных данных (в частности, информация о климатических факторах) зачастую не обеспечивает определения границ, глубины и времени затопления с точностью, необходимой службам по ЧС и местным органам власти для планирования и проведения аварийно-спасательных мероприятий и оповещения населения, находящегося в потенциально опасной зоне [12—14].

В этой связи важную роль играют методы, технологии и системы оперативного (краткосрочного) прогнозирования наводнений, в которых используется численное моделирование перемещения волны половодий и паводков с целью высокоточного оценивания параметров затоплений в интервале от нескольких часов до нескольких суток. Набор исходных гидрометеорологических данных в данной ситуации основывается, в первую очередь, на достаточно точных результатах измерений текущего уровня и расхода воды в условиях уже начавшегося нарастания интенсивности водного потока.

Рассматриваемые задачи прогнозирования направлены на высокоточное оценивание границ затоплений и уровней подъема воды в соответствии с заданным интервалом времени и конкретными условиями распространения водного потока. Тем самым они отличаются от задач мониторинга наводнений, когда фиксируются границы уже затопленных территорий, и задач геоинформационного моделирования, при которых дается оценка возможных границ зон разлива воды в зависимости от потенциально возможных значений уровней ее подъема [15]. Структура системы оперативного прогнозирования наводнений на р. Северная Двина представлена на рис. 2.

Использование современных информационных технологий, обеспечивающих объединение информационных ресурсов, необходимо для решения проблем, возникающих на следующих основных этапах.

1. *Автоматизация сбора и обработки исходных данных*, поступающих из всех доступных источников. В данном случае можно выделить три направления:

— широкое применение и автоматизация процедур обработки материалов аэрокосмической съемки для предварительного построения цифровой картографической основы территории исследования (с указанием границ русла реки, подтопляемых объектов, защитных и гидротехнических сооружений и т.д.), создания цифровых моделей рельефа, валидации и верификации гидрологических моделей [16, 17];

— использование результатов измерения расхода и уровня воды в условиях существующей разреженной сети гидрологических постов; для решения данной задачи существуют достаточно хорошо отработанные и практически апробированные мобильные оперативно устанавливаемые регистраторы уровня, полученные результаты измерений по каналам связи могут быть в автоматическом режиме переданы в моделирующие комплексы [17];

— использование технологий краудсорсинга с целью получения дополнительной информации для адаптации и валидации гидрологических моделей [18].

Дополнительные возможности могут быть обеспечены посредством интегрированной обработки всех типов входных данных с синхронизацией моментов поступления исходной информации, в том числе данных дистанционного зондирования Земли [19—21].

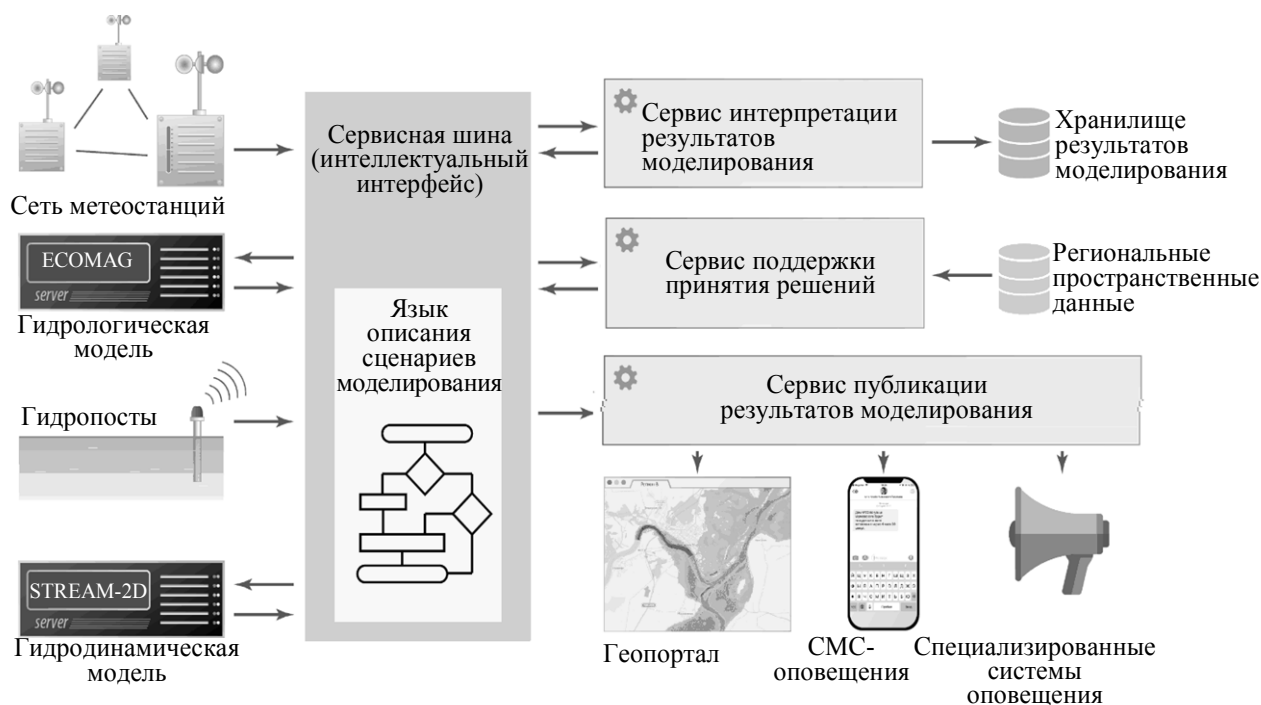


Рис. 2

2. *Выбор моделей и полимодельных комплексов и их адаптация к структуре СКМ.* Достижение высокого качества прогнозов во многом базируется на применении комплекса (ансамбля) гидрологических моделей, когда есть возможность выбора типа и параметров моделей в зависимости от особенностей исследуемой территории, характера движения воды по руслу и пойме, состава исходных данных и ряда других факторов. Повысить качество прогноза можно за счет использования полимодельного подхода, при котором предполагается наличие комплекса гидрологических моделей и применяется наиболее адекватная из них для каждой конкретной ситуации. Однако для этого, в свою очередь, необходимо разработать и реализовать новые методы автоматического (или интерактивного) выбора типа модели и настройки ее параметров, т.е. привнести элементы искусственного интеллекта в архитектуру систем оперативного прогнозирования наводнений. Для такого подхода в качестве научно-методической базы используются методы теории квалиметрии моделей и полимодельных комплексов.

3. *Доступ к результатам моделирования.* К числу основных параметров наводнений, представляющих интерес для конечного пользователя и потенциального потребителя результатов космического мониторинга, относятся: границы потенциально затопляемых территорий, глубины затопления и скорости течения в каждый момент времени на прогнозируемом интервале. Отображение данных параметров в виде динамичной картины, демонстрирующей изменение границ, глубин затопления и скоростного поля потока на картографической основе объектов на территории затопления, является наиболее удобным способом представления результатов моделирования, особенно если результаты реализованы в виде веб-сервисов и доступны при работе с различными персональными цифровыми устройствами. К настоящему времени решению этих задач посвящен ряд исследований [21—24].

Экспериментальные исследования. Апробация предложенного подхода проведена на СКМ, включающей отечественные программные модули гидрологического и гидродинамического моделирования ECOMAG и STREAM-2D (разработаны в МГУ им М. В. Ломоносова и Институте водных проблем РАН), а также комплекс программно-инструментальных средств, обеспечивающий согласованное функционирование модулей выбора и обработки данных ДЗЗ и модулей визуализации результатов [11, 25—27].

Эксперимент проводился с использованием исходных данных за 1998—2017 гг., а также в режиме реального времени в течение весеннего половодья 2018 г. на р. Северная Двина на участке Великий Устюг — Котлас. Этот участок является одним из наиболее проблемных на территории РФ с точки зрения частоты возникновения и масштабов половодий.

В рамках эксперимента были использованы космические снимки, полученные с европейских спутников Sentinel-1 и Sentinel-2, а также с российского спутника Ресурс-П. Данные ДЗЗ позволили решить две ключевые задачи: отобразить реальную картину затопления территории и верифицировать результаты моделирования.

Результаты работы системы свидетельствуют о достаточно высокой точности прогноза: процент совпадений по числу объектов инфраструктуры, попадающих в зону затоплений, составляет не менее 90—95 %.

Заключение. Проведенный в ходе исследования 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 разработке информационной платформы для создания тематических сервисов целесообразно использовать сервис- и событийно-ориентированные архитектуры в сочетании с технологиями платформо-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 СКМ и выполнение базовых требований к подобным системам.

Разработанная общая архитектура системы комплексного моделирования при мониторинге и прогнозировании развития чрезвычайных ситуаций с использованием данных дистанционного зондирования Земли стала основой для создания прототипов программного обеспечения и реализована в многочисленных проектах, выполняемых в СПИИРАН.

Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ 17-08-00797, 17-06-00108, 17-01-00139, 16-08-00510, госзадания Министерства образования и науки РФ № 2.3135.2017/4.6, в рамках бюджетных тем № 0073—2018—0003 (№ АААА-А16-116030250074—1).

Исследования по разработке компонентов системы комплексного моделирования выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-11-01254).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Моисеев Н. Н.* Информатика в экономике и управлении: Текст лекций. М.: Акад. нар. хоз-ва. 1986. 39 с.
2. *Бусленко Н. П.* Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978.
3. *Поспелов Г. С., Ириков В. А., Курилов А. Е.* Процедуры и алгоритмы формирования комплексных программ. М.: Наука, 1985. 424 с.
4. *Соколов Б. В., Юсупов Р. М.* Комплексное моделирование функционирования автоматизированной системы управления навигационными космическими аппаратами // Проблемы управления и информатики. 2002. № 5. С. 103—117.
5. *Калинин В. Н., Соколов Б. В.* Многомодельный подход к описанию процессов управления космическими средствами // Теория и системы управления. 1995. № 1. С. 149—156.
6. *Соколов Б. В., Охтилев М. Ю., Плотников А. М., Потрясаев С. А., Юсупов Р. М.* Комплексное моделирование сложных объектов: основные особенности и примеры практической реализации // Тр. Седьмой Всерос. науч.-практ. конф. „Имитационное моделирование. Теория и практика“ (ИММОД-2015). М.: ИПУ РАН, 2015. С. 58—81.
7. *Zelentsov V., Pimanov I., Potryasaev S., Sokolov B., Cherkas S., Alabyan A., Belikov V., Krylenko I. N.* Flood Monitoring through Remote Sensing. Springer, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-63959-8_4.
8. *Алабян А. М., Беликов В. В., Зеленцов В. А., Крыленко И. Н., Кожанов А. Н., Потрясаев С. А., Соколов Б. В., Хищенко В. И.* Технология и сервисы наземно-космического мониторинга и многомодельного оперативного прогнозирования наводнений // Материалы Шестого Белорус. космического конгресса, Минск, 28—30 окт. 2014 г., Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014. Т. 1. С. 265—268.
9. *Sokolov B. V., Zelentsov V. A., Brovkina O., Mochalov V. F., Potryasaev S. A.* Complex objects remote sensing forest monitoring and modeling // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2014. Vol. 285. P. 445—453.
10. *Данилов-Данильян В. И., Гельфан А. Н.* Экстраординарное наводнение в бассейне реки Амур // Вестн. Российской академии наук. 2014. Т. 84, № 9. С. 817—823.
11. *Зеленцов В. А., Потрясаев С. А.* Архитектура и примеры реализации информационной платформы для создания и предоставления тематических сервисов с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Тр. СПИИРАН. 2017. Т. 6. № 55. С. 86—113.
12. *Порфирьев Б. Н., Макарова Е. А.* Экономическая оценка ущерба от природных бедствий и катастроф // Вестн. Российской академии наук. 2014. Т. 84, № 12. С. 1059—1072.
13. *Порфирьев Б. Н.* Экономические последствия катастрофического наводнения на Дальнем Востоке в 2013 г. // Вестн. Российской академии наук. 2015. Т. 85, № 22. С. 128—137.
14. *Алексеевский Н. И., Фролова Н. Л., Христофоров А. В.* Мониторинг гидрологических процессов и повышение безопасности водопользования. М.: Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 2011. 367 с.
15. *Новаковский Б. А., Колесникова О. Н., Прасолова А. И., Пермяков Р. В.* Геоинформационное моделирование наводнений по материалам космической съемки (на примере г. Бийск, Алтайский край) // Геоинформатика. 2015. № 1. С. 15—20.
16. *Merkuryeva G. V., Merkurjev Yu. A., Lectauers A., Sokolov B. V., Potryasaev S. A., Zelentsov V. A.* Advanced timer flood monitoring, modeling and forecasting // J. of Computational Science. 2014. Oct.
17. *Зеленцов В. А., Петухова Ю. Ю., Потрясаев С. А., Рогачев С. А.* Технология оперативного автоматизированного прогнозирования разлива реки в период весенних паводков // Тр. СПИИРАН. 2013. Вып. 6 (29). С. 40—57.
18. *Шержуков Е. Л.* Региональные системы мониторинга опасных природных и техногенных явлений на примере Краснодарского края // „Водная стихия: опасности, возможности прогнозирования, управления и предотвращения угроз“: Материалы Всерос. науч. конф., Краснодар, 7—12 окт. 2013 г. Новочеркасск, 2013. С. 261—265.
19. *Крыленко И. Н.* Опыт применения космических снимков для компьютерного моделирования затопления территории при наводнениях на реках // Тез. докл. II Междунар. конф. „Земля из космоса — наиболее эффективные решения“. М.: Изд-во „Бином“, 2005. С. 104—106.

20. Merkuryev Y., Okhtilev M., Sokolov B., Trusina I., Zelentsov V. Intelligent technology for space and ground based monitoring of natural objects in cross-border EU-Russia territory // Proc. of the Intern. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2012), Munich, Germany. 2012. P. 2759—2762.
21. Sokolov B. V., Okhtilev M. Yu., Zelentsov V. A., Maslova M. A. The intelligent monitoring technology based on integrated ground and aerospace data // Proc. of the Intern. Conf. on Harbor Maritime and Multimodal Logistics M&S, Vienna, Austria. 2012. P. 112—117.
22. Зеленцов В. А., Крыленко И. Н., Пиманов И. Ю., Потрясаев С. А., Соколов Б. В., Ахтман Й. Основы построения системы обработки данных дистанционного зондирования Земли на базе сервис-ориентированной архитектуры // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 3. С. 241—243.
23. Лебедева С. В., Алабян А. М., Крыленко И. Н., Федорова Т. А. Наводнения в устье Северной Двины и их моделирование // Геориск. 2015. № 1. С. 18—25.
24. Алексеевский Н. И., Крыленко И. Н., Беликов В. В., Кочетков В. В., Норин С. В. Численное гидродинамическое моделирование наводнения в г. Крымске 6—7 июля 2012 г. // Гидротехническое строительство. 2013. № 3. С. 29—35.
25. Пиманов И. Ю. Выбор и программная реализация алгоритма представления данных дистанционного зондирования Земли при разработке мобильных веб-сервисов // Научная сессия ГУАП: Сб. трудов конф. Ч. 2. СПб: Изд-во СПбГУАП, 2015. С. 272—275.
26. Пиманов И. Ю. Методика размещения данных дистанционного зондирования Земли на картографическом веб-сервере // „Географы в годы войны и мира“: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. М.: Изд-во „Перо“, 2015. С. 469—470.
27. Зеленцов В. А., Кожанов А. Н., Пиманов И. Ю., Потрясаев С. А. Реализация междисциплинарных проектов на базе открытой ГИС-платформы // „Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения“: Сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 11—13 нояб. 2015 г. СПб: Политехника, 2015. С. 162—166.

Сведения об авторе

Илья Юрьевич Пиманов — СПИИРАН; лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; мл. научный сотрудник; E-mail: pimen@list.ru

Поступила в редакцию
27.08.18 г.

Ссылка для цитирования: Пиманов И. Ю. Программные инструментальные средства для комплексного моделирования при мониторинге и прогнозировании развития чрезвычайных ситуаций с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 11. С. 988—996.

SOFTWARE TOOLS FOR COMPLEX MODELING IN MONITORING AND FORECASTING OF EMERGENCIES USING THE EARTH REMOTE SENSING DATA

I.Yu. Pimanov

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS,
199178, St. Petersburg, Russia
E-mail: pimen@list.ru

Distributed systems of complex modeling using the Earth remote sensing data are considered. The basic principles of software designed to support automated creation and operation of such systems are presented, components of the complex modeling system are analyzed. The software feasibility is illustrated by the example of presented results of the developed system approbation in monitoring and forecasting of the Northern Dvina river flood.

Keywords: territory management, emergency, complex modeling, service-oriented architecture, remote sensing of the Earth from space

REFERENCES

1. Moiseyev N.N. *Informatika v ekonomike i upravlenii: Tekst lektsiy* (Informatics in Economy and Management: Text of lectures), Moscow, 1986, 39 p. (in Russ.)

2. Buslenko N.P. *Modelirovaniye slozhnykh sistem* (Modeling of Complex Systems), Moscow, 1978. (in Russ.)
3. Pospelov G.S., Irikov V.A., Kurilov A.E. *Protsedury i algoritmy formirovaniya kompleksnykh programm* (Procedures and Algorithms for the Formation of Complex Programs), Moscow, 1985, 424 p. (in Russ.)
4. Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2002, no. 5, pp. 103–117. (in Russ.)
5. Kalinin V.N., Sokolov B.V. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 1995, no. 1, pp. 56–61. (in Russ.)
6. Sokolov B.V., Okhtilev M.Yu., Plotnikov A.M., Potryasaev S.A., Yusupov R.M. *Imitatsionnoye modelirovaniye. Teoriya i praktika. IMMOD-2015* (Imitating Modeling. Theory and Practice), Proceedings of the 7th All-Russian Scientific and Practical Conference, Moscow, 2015, pp. 58–81. (in Russ.)
7. Zelentsov V., Pimanov I., Potryasaev S., Sokolov B., Cherkas S., Alabyan A., Belikov V., Krylenko I.N. *Flood Monitoring through Remote Sensing*, Springer, Cham Cham, pp. 81–100. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-63959-8_4.
8. Alabyan A.M., Belikov V.V., Zelentsov V.A., Krylenko I.N., Kozhanov A.N., Potryasayev S.A., Sokolov B.V., Khimenko V.I. *Materialy 6-go Belorusskogo kosmicheskogo kongressa* (Materials of the 6th Belarusian Space Congress), Minsk, 28–30 October, 2014, vol. 1, pp. 265–268. (in Russ.)
9. Sokolov B.V., Zelentsov V.A., Brovkina O., Mochalov V.F., Potryasaev S.A. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2014, vol. 285, pp. 445–453.
10. Danilov-Danil'yan V.I., Gel'fan A.N. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2014, no. 5(84), pp. 335–343.
11. Zelentsov V.A., Potryasaev S.A. *Trudy SPIIRAN* (SPIIRAS Proceedings), 2017, no. 55(6), pp. 86–113.
12. Porfir'ev B.N., Makarova E.A. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2014, no. 6(84), pp. 395–406.
13. Porfir'ev B.N. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2015, no. 1(85), pp. 40–48.
14. Alekseyevskiy N.I., Frolova N.L., Khristoforov A.V. *Monitoring gidrologicheskikh protsessov i povysheniye bezopasnosti vodopol'zovaniya* (Monitoring of Hydrological Processes and Improvement of Water Use Safety), Moscow, 2011, 367 p. (in Russ.)
15. Novakovskiy B.A., Kolesnikova O.N., Prasolova A.I., Permyakov R.V. *Geoinformatics*, 2015, no. 1, pp. 15–20. (in Russ.)
16. Merkur'yeva G.V., Merkur'yev Yu.A., Lectauers A., Sokolov B.V., Potryasaev S.A., Zelentsov V.A. *J. of Computational Science*, 2014. Oct.
17. Zelentsov V.A., Petukhova Yu.Yu., Potryasayev S.A., Rogachev S.A. *Trudy SPIIRAN* (SPIIRAS Proceedings), 2013, no. 6(29), pp. 40–57. (in Russ.)
18. Sherzhukov E.L. *Vodnaya stikhiya: opasnosti, vozmozhnosti prognozirovaniya, upravleniya i predotvrashcheniya ugroz* (Water Elements: Dangers, Possibilities of Forecasting, Management and Prevention of Threats), Materials of the All-Russian Scientific Conference, Krasnodar, 7–12 October 2013, pp. 261–265. (in Russ.)
19. Krylenko I.N. *Zemlya iz kosmosa – naiboleye effektivnyye resheniya* (Earth from Space – the Most Effective Solutions), Abstracts of the II International Conference, Moscow, 2005, pp. 104–106. (in Russ.)
20. Merkur'yev Y., Okhtilev M., Sokolov B., Trusina I., Zelentsov V. *Proc. of the Intern. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2012)*, Munich, Germany, 2012, pp. 2759–2762.
21. Sokolov B.V., Okhtilev M.Yu., Zelentsov V.A., Maslova M.A. *Proc. of the Intern. Conf. on Harbor Maritime and Multimodal Logistics M&S*, Vienna, Austria, 2012, pp. 112–117.
22. Zelentsov V.A., Krylenko I.N., Pimanov I.Yu., Potryasayev S.A., Sokolov B.V., Akhtman Y. *Journal of Instrument Engineering*, 2015, no. 3(58), pp. 241–243. (in Russ.)
23. Lebedeva S.V., Alabyan A.M., Krylenko I.N., Fedorova T.A. *Georisk*, 2015, no. 1, pp. C. 18–25. (in Russ.)
24. Alekseevskii N.I., Krylenko I.N., Belikov V.V., Kochetkov V.V., Norin S.V. *Power Technology and Engineering*, 2014, no. 3(48), pp. 179–186. (in Russ.)
25. Pimanov I.Yu. *Nauchnaya sessiya GUAP. Chast' II. Tekhnicheskiye nauki* (Scientific Session of the State University of Aviation Instrumentation. Part II. Technical Sciences), Collection of Reports, St. Petersburg, 2015, pp. 272–275. (in Russ.)
26. Pimanov I.Yu. *Geografy v gody voyny i mira* (Geographers in the Years of War and Peace), Materials of the International Scientific-Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, Moscow, 2015, pp. 469–470. (in Russ.)
27. Zelentsov V.A., Kozhanov A.N., Pimanov I.Yu., Potryasayev S.A. *Geodeziya, kartografiya, geoinformatika i kadastry. Ot idei do vnedreniya* (Geodesy, Cartography, Geoinformatics and Inventories. From the Idea before Introduction), Collection of Materials of the International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, 11–13 November 2015, pp. 162–166. (in Russ.)

Data on author

Илья Ю. Пиманов — St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in Systems Analysis and Modeling; Junior Scientist; E-mail: pimen@list.ru

For citation: Pimanov I. Yu. Software tools for complex modeling in monitoring and forecasting of emergencies using the Earth remote sensing data. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 11. P. 988—996 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-11-988-996