

В.А. ЗЕЛЕНЦОВ, Ю.Ю. ПЕТУХОВА, С.А. ПОТРЯСАЕВ, С.А. РОГАЧЕВ
**ТЕХНОЛОГИЯ ОПЕРАТИВНОГО
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
РАЗЛИВА РЕКИ В ПЕРИОД ВЕСЕННИХ ПАВОДКОВ**

Зеленцов В.А., Петухова Ю.Ю., Потрысаев С.А., Рогачев С.А. Технология оперативного автоматизированного прогнозирования разлива реки в период весенних паводков.

Аннотация. В статье рассматривается использование технологии наземно-космического мониторинга в решении существующей проблемы весенних паводков. Основные представленные темы: сбор исходных данных для моделирования наводнения, существующие подходы и технологии мониторинга наводнений, а также метод построения системы прогнозирования наводнений. Особое внимание уделяется применению разработанного прототипа системы прогнозирования наводнений к весеннему паводку на реке Даугава в районе города Даугавпилс, Латвия. Предлагаемый пример иллюстрирует синергетический эффект от интеграции наземно-космических средств мониторинга для решения задач борьбы с наводнениями путем их упреждающего моделирования.

Ключевые слова: система мониторинга, наземно-космический мониторинг, моделирование наводнений, прогнозирование наводнений.

Zelentsov V.A., Petuhova J.J., Potrysaev S.A., Rogachev S.A. Technology of operative automated prediction of flood during the spring floods.

Abstract. The paper presents the application of space and ground monitoring technologies to a vital problem of spring floods. The following are main topics discussed in the paper: the data necessary for flood modeling, flood monitoring technologies and approaches as well as flood forecasting systems. The particular focus is on the application of developed flood monitoring system to the situation of flood forecasting in Daugavpils on a river Daugava. The explored example illustrates synergetic effect of integration space and ground monitoring technologies for solving natural problems by this allowing prediction and evaluation of natural disasters as floods.

Keywords: monitoring system, space-ground monitoring, flood modeling, flood prediction.

1. Введение. Наводнение — это один из видов стихийных бедствий, приводящий к значительным социальным и экономическим проблемам. Кроме того, наводнения могут стать причиной вспышек инфекционных заболеваний, таких как кишечные инфекции, гепатит, лептоспироз, энтеровирусная инфекция и другие. После ухода воды должны быть предприняты соответствующие меры по восстановлению окружающей среды — очистка и дезинфекция колодцев, подвалов и других сооружений. В связи с этим борьба с наводнениями, и в частности, их прогнозирование, всегда остается важной задачей, связанной с защитой жизни, здоровья и благосостояния населения, снижением экономического и экологического ущерба.

Основные причины наводнений — проливные дожди, таяние снега и ледяные заторы. На протекание процесса наводнения также оказывают влияние тип почвы в зоне затопления, степень ее влажности, назначение затопленных земель.

Наличие системы мониторинга и прогнозирования наводнения позволяет существенно усилить общественную безопасность, снизить экономический ущерб, причиняемый наводнениями.

Последние достижения в области пространственного моделирования наводнений, современные геоинформационные системы и технологии дистанционного зондирования Земли открывают новые перспективные направления борьбы с наводнениями за счет значительного улучшения качества получаемого результата моделирования.

2. Решение задач борьбы с наводнениями. В настоящее время можно выделить два типа задач, связанных с наводнениями — задача мониторинга наводнений и задача их прогноза.

При решении первой задачи все шире используется спутниковый мониторинг. Так, например, Инженерно-технологический центр «СКАНЭКС» летом 2012 года проводил оперативный космический мониторинг районов Кубани. По данным с сайта <http://scanex.ru> наиболее важными результатами мониторинга были следующие: определены районы подтоплений, зафиксированы изменения площади водохранилищ, выявлены загрязнения водных объектов нефтепродуктами, зафиксирован факт обмеления одного из наблюдаемых прудов. В 2013 году основу аналогичного мониторинга составили оптические и радиолокационные изображения высокого и сверхвысокого разрешения с шести различных спутников, полученные сетью российских станций приема космических данных. При использовании спутникового мониторинга, как правило, происходит констатация уже случившегося факта разлива реки и подсчет причиненного ущерба на основе сведений, полученных с использованием космоснимков. Элементы решения задачи прогноза могут присутствовать, но они базируются, в основном, на экспертных знаниях.

Для целенаправленного решения задачи предсказания размера возможного наводнения, оценки риска его возникновения, предварительного оповещения и эвакуации населения и животных, а также материальных ценностей необходимо создание специализированных систем прогнозирования наводнений.

3. Состав системы прогнозирования наводнений. На основе проведенного анализа опыта решения данной проблемы в России и

странах Европейского сообщества можно выделить три основные компоненты системы прогнозирования наводнений [1]:

1. Система сбора, первичной обработки и передачи гидрометеорологической информации в центр прогнозирования.
2. Информационно-моделирующая система, являющаяся основой функционирования центра прогнозирования и включающая два блока: модели движения воды по русловой сети и модели распространения воды по рельефу.
3. Система визуализации результатов и их распространения среди заинтересованных лиц.

Учитывая обширность речных пойм для реализации первой подсистемы можно использовать методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Важными преимуществами этих методов являются большая обозреваемая площадь, возможность регулярного отслеживания состояния земной поверхности. То есть спутниковый мониторинг наводнений является одним из компонентов рассматриваемой системы. Но для создания полной картины текущей ситуации данные ДЗЗ должны быть дополнены данными от наземных систем мониторинга, например, от метеорологических систем — для своевременного прогнозирования выпадения осадков и их интенсивности, от гидрологических станций, измеряющих уровень воды, ее температуру, скорость течения, ледовые явления.

Классификация моделей, применяемых во второй подсистеме, приведена в документе «Handbook on good practices for flood mapping in Europe», размещенном на сайте Еврокомиссии http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_atlas.

Наиболее сложно реализуемым подготовительным этапом работы информационно-моделирующей системы является создание цифровой модели рельефа (ЦМР) местности. Существует несколько методов получения ЦМР. Можно отметить широко применяемую спутниковую и авиационную стереосъемку (как оптическую, так и радиолокационную), а также воздушное лазерное сканирование, характеризующееся, с одной стороны, максимально высокой точностью, а с другой — достаточно высокой стоимостью. Кроме того, существует метод получения ЦМР по одиночным космическим изображениям или аэрофотоснимкам. Применяется оцифровка существующих топографических карт с последующим получением ЦМР в соответствующем программном обеспечении [2].

Самой известной и широко используемой ЦМР является Shuttle radar topographic mission (SRTM) с разрешением 90 метров и абсолют-

ной ошибкой по высоте до 16 метров [3]. Данная ЦМР находится в открытом доступе и может быть использована в пилотных проектах, однако ее использование для продуктивного решения задачи прогнозирования паводков не оправдано из-за достаточно большой ошибки по высоте.

Применение геоинформационных систем (ГИС) как основы интеграции космических и наземных исходных данных о затоплениях, результатов работы информационно-моделирующей системы и сведений о хозяйственном освоении территории, дает возможность создать информационный ресурс, позволяющий выработать правила использования затопляемых территорий и представить их в виде картографических материалов. Очевидна потребность в передаче получаемой прогностической информации населению, пожарно-спасательным службам и другим административным органам с целью их оповещения о возникающих экстремальных ситуациях.

Кроме того, результаты работы информационно-моделирующей системы можно использовать в системе управления режимом работы гидроузла (например, гидроэлектростанции) в процессе пропуска воды в периоды паводков и паводков.

4. Созданный прототип системы упреждающего моделирования наводнений. Авторами статьи предлагается прототип системы мониторинга и упреждающего моделирования наводнений. Составным элементом предлагаемой информационно-моделирующей системы является вычислительный модуль, реализующий расчеты гидрологических процессов. Для выбора конкретного модуля проведен анализ трех наиболее известных инструментальных средств (программно-математического обеспечения), решающих данную задачу: LISFLOOD-FP, SOBEK и HEC-RAS. Указанные средства можно разделить на два класса по сроку прогноза: для долгосрочного прогнозирования и для краткосрочного прогнозирования [4].

Проведенное сравнение показало, что системы моделирования SOBEK и HEC-RAS позволяют строить долгосрочные прогнозы, но требуют значительного объема входных данных, получение которых сопряжено с существенными материальными и временными затратами.

Поэтому для демонстрации возможностей наземно-космического мониторинга и в рамках создания прототипа системы упреждающего моделирования наводнений выбран расчетный модуль краткосрочного прогнозирования LISFLOOD-FP, требующий минимума исходных данных для получения приемлемого результата [5]. Данный модуль

был использован в нескольких европейских проектах и успешно прошел апробацию. Эксперимент проводился совместно Санкт-Петербургским институтом информатики и автоматизации РАН и Рижским техническим университетом (Латвия).

Для тестового моделирования наводнения был выделен участок реки Даугава в районе города Даугавпилс (Латвия) протяженностью около 20 км (см рис. 1). Интервал времени выбран таким образом, чтобы охватить наиболее вероятный период возникновения весеннего паводка — апрель 2013 года. Процесс подготовки исходных данных для моделирования наводнения состоял из нескольких этапов.



Рис. 1. Участок моделирования.

Цифровая модель рельефа. В ходе проведенных ранее экспериментов с гидрологическими моделями выяснилось, что общедоступная цифровая модель рельефа SRTM дает очень грубую оценку затопляемой территории и может быть использована только на местности с ярко выраженным рельефом. Было принято решение о закупке ЦМР у специализированной компании (см. рис. 2). Полученная ЦМР была сформирована методом лазерного сканирования LiDAR и имела пространственное разрешение 5 метров, разрешение по высоте 0,25 метра.

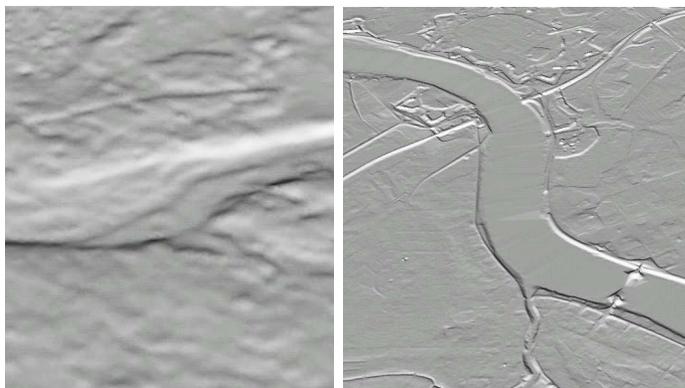


Рис. 2. Цифровая модель SRTM (слева) и LiDAR (справа) в одинаковом масштабе.

Гидрологические характеристики реки. Для одномерной модели движения воды по русловой сети была построена упрощенная модель русла Даугавы на выбранном участке. Данные по ширине русла реки сформированы на основе спутниковых снимков региона в период межени Даугавы (см. рис. 3). Глубины реки получены от гидрологов Даугавпилса. Абсолютные высоты дна русла реки рассчитаны с использованием ЦМР.



Рис. 3. Определение гидрологических характеристик реки.

Расход воды в реке. На момент проведения тестового моделирования на выбранном участке Даугавы функционировала одна гидрологическая станция, способная в автоматическом режиме получать данные об уровне воды в реке. Эти данные транслируются в Интернет на сайт метеорологической службы, но с задержкой по времени на 8–10 часов. Кроме того, для выполнения расчетов требуется расход воды в реке, а не уровень. Метеорологическая служба периодически выполняет измерение расхода воды в реке, но периодичность замера — два раза в месяц. Для проведения оперативного прогнозирования указанная периодичность поступления исходных данных совершенно неприемлема. В связи с этим с метеорологической службой Латвии был заключен договор на поставку оперативных гидрологических данных со станции в Даугавпилсе. Благодаря этому стало возможно оперативное (ежечасное) получение значений уровня воды в реке (см. рис. 4).

Ikstundas maks. ūdens līmenis Daugavpilī (cm)	
Datums un laiks	Ūdens līmenis Daugavpilī
16.04.2013 08:00 - 09:00	490
16.04.2013 09:00 - 10:00	479
16.04.2013 10:00 - 11:00	478
16.04.2013 11:00 - 12:00	461
16.04.2013 12:00 - 13:00	462
16.04.2013 13:00 - 14:00	547
16.04.2013 14:00 - 15:00	572

Рис. 4. Оперативные данные с гидрологической станции.

Но замер расхода воды в реке гидрологическая служба не могла проводить чаще одного раза в сутки. В связи с этим было принято решение выявить зависимость значения расхода воды в реке от значения оперативно полученного уровня. Более того, была поставлена задача получения прогноза расхода воды в реке на весь интервал планирования. Для ее решения были применены методы линейной регрессии и символьной регрессии с применением генетического программирования (см. рис. 5). Удалось достичь уровня 90% соответствия реальных и расчетных данных. Коллегами из Рижского технического университета был создан веб-сервис пересчета уровня воды в реке в расход, выраженный в м³/с. Таким образом, стало доступным ежечасное получение значения расхода воды в реке.

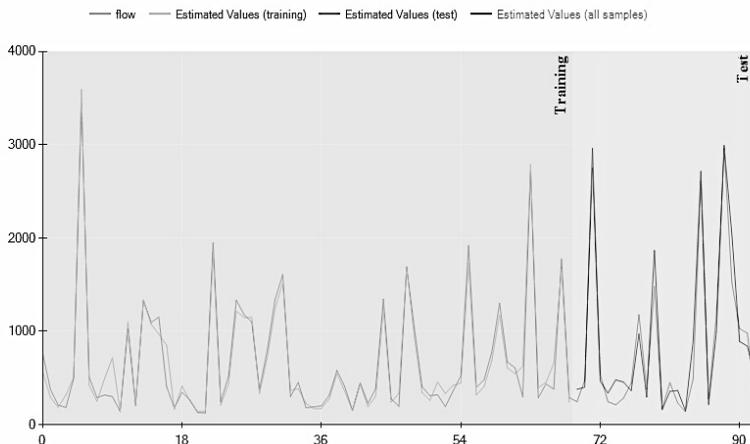


Рис. 5. График, отображающий эмпирические значения и значения, полученные с помощью модели.

Информационно-моделирующая система была развернута в инновационно-образовательном Центре космических услуг СПИИРАН. Ежечасно происходил прием информации от созданной системы сбора и первичной обработки данных, и выполнялся процесс моделирования. По итогам моделирования формировался прогноз затопления территории на 12 часов вперед. Результат представлял собой геопривязанную растровую карту с информацией о глубине воды на затопленной территории (см. рис. 6).

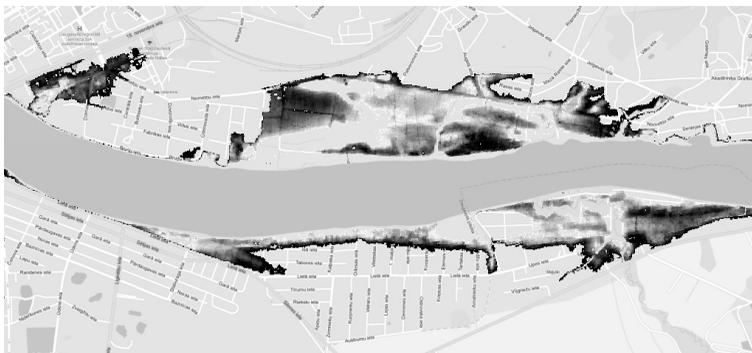


Рис. 6. Растровая карта затопленной территории.

Созданная система визуализации выполняла несколько этапов постобработки полученных результатов моделирования. Прежде всего, растровая карта затопления автоматически векторизовалась для обеспечения совместимости со сторонними геоинформационными системами (см. рис. 7). Векторная карта и соответствующая метка времени моделирования автоматически сохранялись в базе данных для формирования архива информации о динамике наводнения.



Рис. 7. Результат векторизации карты затопления.

Второй этап визуализации — размещение результатов моделирования на геопортале. В рамках выполненной работы в качестве прототипа геопортала был создан сервис на основе Карт Google (см. рис. 8). Данный сервис предоставлял возможность просмотра слоев с контурами затопления от начала процесса моделирования до 12-ти часового

прогноза. Причем допускалось наложение слоев, соответствующих различным меткам времени для наглядного представления динамики процесса наводнения.

С целью калибровки параметров модели была заказана серия космоснимков с аппарата Radarsat-1. Первый радарный снимок, полученный 23 марта 2013 года, позволил уточнить текущее состояние русла реки. Но 29 марта на спутнике произошел сбой, приведший, как было заявлено Канадским космическим агентством, к окончательному выходу его из строя к 9 апреля 2013 года. Поскольку получение снимков с других аппаратов не представлялось возможным (неприемлемые углы съемки и сильная облачность), было принято решение использовать альтернативные источники информации. Так, была привлечена технология социальных сетей сбора информации, известная под названием краудсорсинг. Для реализации данной технологии был сформирован сервис <http://daugava.crowdmap.com> на открытой платформе «Ushahidi» (см. рис. 9).

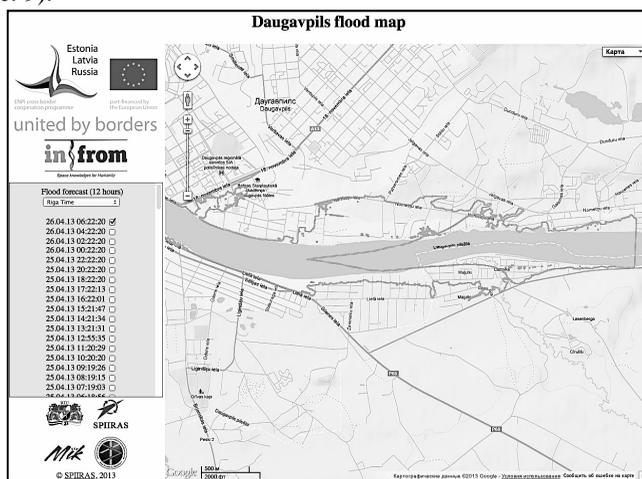


Рис. 8. Прототип геопортала для визуализации результатов моделирования.

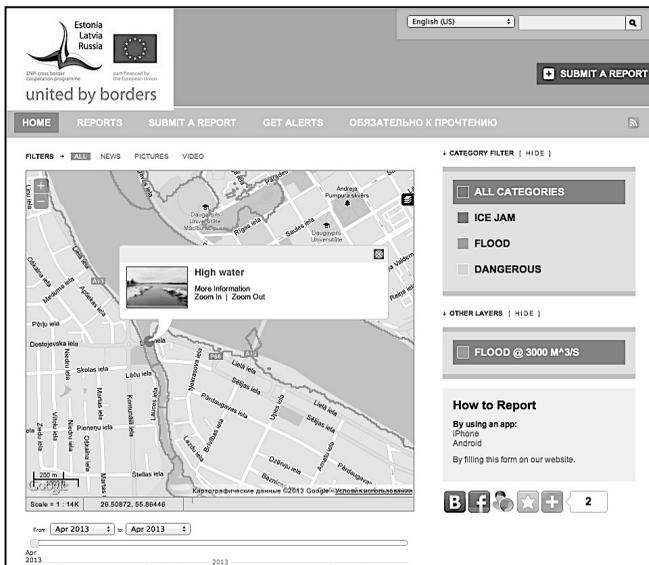


Рис. 9. Сервис сбора информации — «краудсорсинг».

Сервис представляет возможность любому пользователю разместить фотографию, привязанную к геопозиции и соответствующий комментарий. Сотрудниками Рижского технического университета была проведена работа по популяризации сервиса через средства массовой информации. В течение следующих дней были получены десятки снимков, наглядно показывающих динамику процесса наводнения (пример на рис. 10).



Рис. 10. Пример динамики наводнения. Снимки с интервалом в сутки.

Данные снимки позволили провести оперативную калибровку некоторых параметров модели и уточнить прогноз распространения воды. Более качественная калибровка параметров модели, а также точное определение степени совпадения рассчитанной и реально затопленной территории может быть доступно после получения снимка оптического диапазона.

В целом следует отметить, что прогноз затопления значимых объектов инфраструктуры совпал приблизительно на 90%. Высокий уровень достоверности прогноза достигается за счет постоянной актуализации входных параметров и краткосрочности прогноза. На качество результата в большей степени влияет цифровая модель рельефа. Примером тому может служить ситуация, которая возникла в ходе эксперимента из-за появления случайной ошибки в ЦМР. Вдоль правого берега Даугавы в городе Даугавпилс в конце 19 века была возведена земляная дамба, защищающая город от наводнения. В полученной ЦМР ошибка была вызвана заниженным уровнем дамбы на 30-ти метровом участке. В ходе моделирования наличие этого изъяна привело к ложному затоплению 1,8 км² городской застройки. Таким образом, при проведении коррекции ЦМР, появляется возможность рассчитать сценарии затопления территории при различных техногенных катастрофах (размытие и разрушение дамбы) или умышленной реконструкции гидрологических сооружений (понижение уровня дамбы).

5. Перспективы развития системы мониторинга и прогнозирования наводнений. Наиболее перспективным направлением дальнейшего развития представляется привязка полученных результатов к адресным планам соответствующих населенных пунктов с целью разработки сервиса автоматического адресного оповещения их жителей через персональные коммуникационные устройства. Указанная задача приобретает особую актуальность в связи с тем, что по многочисленным заявлениям средств массовой информации одной из причин тяжелых последствий наводнения в г. Крымск на юге России в июле 2012 года была неэффективная работа систем оповещения о стихийных бедствиях.

В районе Даугавпилса в зоне повышенного риска находятся район Ругели, дачи в садоводческих кооперативах «Даугава», «Строитель», «Малютки», «Кооператор» и «Любисте». Особенностью этих населенных пунктов является низкая плотность построек, большая территориальная распределенность жителей по сравнению с городской застройкой. В этих условиях централизованные системы оповещения малоэффективны и предлагается их дополнить средствами автоматического

адресного оповещения населения посредством персональных коммуникационных устройств, преимущественно, мобильных телефонов (см. рис. 11).



Рис. 11. Интеграция результатов моделирования затоплений с электронной адресной системой.

Алгоритм работы можно предложить следующий:

- 1) Выполняется автоматический сбор, первичная обработка и передача гидрометеорологической информации в центр прогнозирования.
- 2) Информационно-моделирующая система выполняет автоматическое прогнозирование наводнения на краткосрочный период (1–2 суток). Выполняется построение области предположительного затопления.
- 3) Данные о предположительно затопляемой территории совмещаются с имеющимся адресным планом, и автоматически производится выборка строений и участков, попадающих в зону риска.
- 4) По извлеченной из адресного плана информации о номерах телефонов выбранных строений производится автоматический дозвон и воспроизведения информации о прогнозе наводнения. Фиксируется состояние звонка — абонент ответил или нет, длительность прослушивания сообщения.
- 5) Отчет о неотвеченных звонках и непрслушанных сообщениях поступает операторам службы чрезвычайных ситуаций для

формирования списка потенциально не оповещенных жителей района для принятия дальнейших решений.

Благодаря автоматизации каждого этапа реализации данной технологии и системы оповещения, сводятся к минимуму ситуации задержки из-за человеческого фактора распространения тревожной информации, что имело место в случае наводнения на юге России в июле 2012 года.

Заключение. В развитие приведенного примера следует сказать, что за счет применения технологий интегрированного наземно-космического мониторинга появляется возможность на уровне моделирования проследить связь между различными структурами, функционирующими в реальном мире, в том числе оценить влияние природных объектов на городскую инфраструктуру. Вследствие этого может быть сформирован целостный образ объекта моделирования, позволяющий не только объективно оценивать текущее состояние эколого-технологических систем, но и выполнять упреждающее моделирование как с прогнозируемыми исходными данными, так и с применением сценариев по принципу «что будет, если...» [6].

В рассматриваемом примере явно прослеживается возможность моделирования, прогнозирования и принятия решений, связанных с оценением влияния наводнения на дорожную сеть (автоматическое изменение маршрутов транспорта), на энергетические сети (автоматическое отключение электрических и газовых подстанций при возникновении угрозы затопления и заблаговременный поиск альтернативных путей поставки энергии), на социально значимые объекты (запрет посещения мест массового скопления людей при угрозе их затопления, при угрозе отключения электроэнергии на объекте вследствие затопления, при угрозе блокирования подъездных путей к объекту вследствие затопления) и т. д. Таким образом, соответствующие системы поддержки принятия управленческих решений, в основу которых будут положены разработанные модели, алгоритмы и методики, позволят на принципиально новом уровне осуществлять упреждающее моделирование и прогнозирование последствий наводнений.

Литература

1. Юсупов Р.М., Куссуй Н.Н., Соколов Б.В., Зелье Я.И., Зеленцов В.А., Скакун С.В., Охтилев М.Ю., Шелестов А.Ю. Оценка рисков стихийных бедствий на основе разнородной геопространственной информации // Проблемы управления и информатики. 2010. №6. С. 97–110.

2. Яковченко С.Г., Жоров В. А., Постнова И.С. Создание и использование цифровых моделей рельефа в гидрологических и геоморфологических исследованиях. Кемерово: ИУУ СО РАН, 2004. 92 с.
3. Карионов Ю.И. Оценка точности матрицы высот SRTM // Геопрофи. 2010. №10. С. 48–51.
4. Azadeh Ramesh. Response of Flood Events to Land Use and Climate Change. Springer 2013. 249 p.
5. Hunter N.M., Bates P.D., Horritt M.S. and Wilson M.D. Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: a review. *Geomorphology*. 2007. №90. P. 208–225.
6. Охтилев М.Ю., Зеленцов В.А., Потрясаев С.А., Соколов Б.В. Концепция проактивного управления сложными техническими объектами и технологии ее реализации // Известия ВУЗов. Приборостроение. СПб. 2012. № 12. С. 73–75.

Зеленцов Вячеслав Алексеевич — главный научный сотрудник, руководитель группы космических информационных технологий и систем СПИИРАН, профессор Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. Является автором более 180 научных публикаций и 21 изобретения. Область научных интересов — системный анализ, теория надежности, методы управления эксплуатацией сложных систем. zvarambler@rambler.ru. Санкт-Петербург, 14 линия ВО, д. 39. +7 (812) 328-0103.

Zelentsov Viacheslav A. — chief researcher, Laboratory for Information Technologies in Systems Analysis and Modeling, Head of Research Consulting Center for Space Information Technologies and Systems, SPIIRAS, professor and Director of Research and Education Center “AeroSpaceInfo” in St Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. Publications: more than 180 scientific paper, more over 50 research and engineering projects, 5 teaching books. Fields of research: basic and applied research in integrated modeling, multi-criteria optimization under uncertainties, reliability theory, and mathematical models and methods of decision-making support in complex technical-organizational systems with the use of aerospace information.

Петухова Юлия — д.т.н., старший научный сотрудник Рижского технического университета (RTU). Область научных и исследовательских интересов: имитация логистических систем, динамика цепей поставок, практическое применение имитационного моделирования, обучение с помощью имитационных деловых игр. Петухова Ю. является членом ассоциации имитационного моделирования Латвии и имеет большой опыт в реализации национальных и международных проектов в области имитации. Автор более 25 научных статей. julija.petuhova@rtu.lv, www.rtu.lv; Рижский технический университет, 1 Kaļķu iela, LV-1658 Rīga, Latvija; т. +371 67089514, ф. +371 67089513.

Petuhova Julija — Doctor of Engineering, senior researcher of the Institute of Information Technology at Riga Technical University. Her research interests include simulation methodology of logistics systems, supply chain dynamics, practical applications of simulation modeling, training and education via simulation-based business games. She is a member of the Latvian Simulation Society and has a wide experience in performing research projects in the simulation area at national and international levels. The number of scientific papers — 25. julija.petuhova@rtu.lv, www.rtu.lv; Riga Technical University, 1 Kaļķu Str., LV-1658 Riga, Latvia; phone +37167089514, fax +37167089513.

Потрясаев Семен Алексеевич — к.т.н., старший научный сотрудник СПИИРАН. Потрясаев С.А. специалист в области системного анализа и исследования операций. Область научных интересов: разработка научных основ теории управления структурной динамикой сложных организационно-технических систем. Автор более 30 научных трудов. semp@mail.ru; СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7 (812) 328-0103.

Potryasaev Semen Alekseevich — Ph.D., Leading Researcher, SPIIRAS. Potryasaev S.A. is a specialist in the field of systems analysis and operations research. Research interests: development of research fundamentals for the control theory by structural dynamics of complex organizational-technical systems. The number of publications more than 30. semp@mail.ru; SPIIRAS, 14th Line, 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7 (812) 328-0103.

Рогачев Сергей Александрович — аспирант кафедры компьютерной математики и программирования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП); инженер СПИИРАН. Область научных интересов: разработка и исследование интегрированной интеллектуальной системы наземно-космического мониторинга и прогнозирования наводнений. Число научных публикаций — 1. rogachev.seal@gmail.com; СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812) 328–0103, факс +7(812) 328–4450.

Rogachev Sergei Alexandrovich — postgraduate student chair of computer mathematics and programming of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAD); an engineer SPIIRAS. Research Interests: Research and development of an integrated intelligent system ground-space monitoring and flood forecasting. The number of scientific publications — 1; rogachev.seal@gmail.com; SPIIRAS, 14th Line, 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812) 328–0103, fax +7(812) 328–4450.

Поддержка исследований. Исследования по рассматриваемой тематике проводились при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 11-08-01016, 11-08-00767, 12-07-13119-офи-м-РЖД, 12-07-00302, 13-07-00279, 13-08-00702, 13-08-01250), Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект №2.11), проекта ESTLATRUS 2.1/ELRI - 184/2011/14 «Integrated Intelligent Platform for Monitoring the Cross-Border Natural-Technological Systems» (2012–2013 гг.), проекта ESTLATRUS/1.2./ELRI-121/2011/13 «Baltic ICT Platform».

Рекомендовано лабораторией информационных технологий в системном анализе и моделировании, заведующий лабораторией заместитель директора СПИИРАН Соколов Б.В., д-р техн. наук, проф.
Статья поступила в редакцию 13.06.2013.

РЕФЕРАТ

Зеленцов В.А., Петухова Ю.Ю., Потрясаев С.А., Рогачев С.А. **Технология оперативного автоматизированного прогнозирования разлива реки в период весенних паводков.**

Наводнение — это один из видов стихийных бедствий, приводящий к значительным социальным и экономическим проблемам. Наличие системы мониторинга и прогнозирования наводнения позволяет существенно усилить общественную безопасность, снизить экономический ущерб, причиняемый наводнениями.

В настоящее время можно выделить два типа задач, связанные с наводнениями — задача мониторинга наводнений и задача их прогноза. При решении первой задачи все шире используется спутниковый мониторинг, направленный на констатацию уже случившегося факта разлива реки и подсчет причиненного ущерба на основе сведений, полученных с использованием космоснимков. Для целенаправленного решения задачи предсказания наводнения необходимо создание специализированных систем упреждающего моделирования наводнений, состоящих из подсистемы сбора информации, информационно-моделирующей подсистемы и средств визуализации и распространения результата. Для получения достоверного целостного образа моделируемого объекта данная система должна основываться на интеграции разнородных данных, получаемых как с космических средств, так и с наземных датчиков.

Разработанный авторами статьи прототип системы упреждающего моделирования использовался для получения прогноза затопления района города Даугавпилс, Латвия, в апреле 2013 года. Предварительно был выполнен сбор исходных данных. Цифровая модель рельефа была получена методом лазерного сканирования местности с самолета, выполненного специализированной компанией. По архивным космоснимкам оптического диапазона получены гидрологические характеристики русла реки. Благодаря договоренности с гидрологической станцией Даугавпилса стало возможным оперативное получение данных с датчика уровня воды в Даугаве. С применением метода символьной регрессии и генетического программирования был создан сервис пересчета уровня воды в расход воды в м³/с. Развернутая система упреждающего моделирования на основе собранных данных ежедневно формировала прогноз затопления территории и автоматически размещала результат на прототипе геопортала для информирования заинтересованных лиц.

Оперативная калибровка модели выполнялась в два этапа: с применением полученного снимка с аппарата Radarsat-1 и с использованием технологии краудсорсинга — поставкой фотографий территории жителями города на добровольных началах через специально сформированный веб-сервис.

В результате удалось достичь приблизительно 90%-го совпадения затопления значимых объектов. Высокий уровень достоверности прогноза достигается за счет постоянной актуализации входных параметров и краткосрочности прогноза.

SUMMARY

Zelentsov V.A., Petuhova J.J., Potryasaev S.A., Rogachev S.A. **Technology of operative automated prediction of flood during the spring floods.**

Flood is one of the natural disasters which cause immense human and social tragedies as well as costly economic losses. An efficient flood forecasting and monitoring system may improve significantly public safety and mitigate economical damages caused by inundations.

There are two types of issues related to flood management: flood monitoring and inundation forecasting. For solving the first issue, the application of satellite monitoring increases as it allows detecting river overflow and calculating flood damage based on the data obtained by satellite images. To deal with the issue of possible flood zone forecasting the development of special purpose flood forecasting systems is necessary which includes the following subsystems as information collection, information-simulation, visualization, and dissemination of results. To get a holistic view of the modelled object, the above mentioned system should be based on the heterogeneous data integration, received from both space and ground-based sensors.

Developed by the paper's authors, the prototype of the simulation system for flood forecasting was used to obtain inundation zone forecasting in a city Daugavpils (Latvia) in April 2013. First, input data were collected and, a digital elevation model was obtained by means of airborne laser scanning of the investigated area, performed by a specialized company. According to archival optical range space images, hydrological characteristics of the river channel were obtained. Based on an agreement with the hydrological observation station in Daugavpils, operative data receiving of the water level in the river Daugava became possible by means of on-line web service. By application of the symbolic regression method and genetic programming, a service for converting water level into water flow measured in m^3/s was done.

As the result, the distributed simulation system for flood forecasting, based on collected data, allows generating forecast of inundation zones hourly and presenting results automatically at the developed a geo-portal prototype for informing of end users.

Operational verification of the model was performed in two steps: by using image received from the satellite Radarsat-1 and by using crowdsourcing technology — photos or video materials downloaded by the social active residents of the Daugavpils region on a free-will basis through a created web service.

Performed real time experiment allows achieving about 90% of confidence regarding to the significant objects, which were actually inundated. The high forecast precision is achieved through the constant updating of input parameters and short-term horizon of the forecast.