

**КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОАКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ****Б.В. Соколов, В.А. Зеленцов, И.Ю. Пиманов, Р.М. Юсупов (Санкт-Петербург)****Введение**

Одной из характерных особенностей развития современной цивилизации является стремительно растущая сложность взаимосвязей, взаимозависимости и взаимодействия различных сфер жизни и деятельности человека. Наиболее остро эти аспекты проявляются при возникновении различных масштабных аварий, катастроф и других чрезвычайных ситуаций, которые без оперативного принятия специальных мер могут привести к большим человеческим жертвам, материальным потерям и ряду других негативных факторов. Далее в рамках данного доклада под чрезвычайной ситуацией (ЧС), согласно [1], будем понимать *обстановку на определенной территории, сложившуюся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.*

В современных условиях принято выделять три группы событий, несущих в себе потенциальную угрозу интересам национальной безопасности, в связи с возможным нарушением устойчивости управления народно-хозяйственным комплексом, вызванными возникновением ЧС и связанными с этим материальными и людскими потерями различного масштаба [1,2].

Природные катаклизмы: землетрясения, наводнения, ливни и снежные заносы, ураганы, засухи, лесные и степные пожары, лавины и оползни, аномальные сезонные колебания температуры воздуха.

Техногенные катастрофы: аварии и пожары на магистральных нефте- и газопроводах и хранилищах; повреждения линий электропередач; выбросы вредных веществ в окружающую среду; обрушение жилых, производственных и общественных зданий; выход из строя систем связи и электронных средств коммуникаций; аварии и пожары на предприятиях промышленности и энергетики, аварии на транспортных магистралях и в аэропортах, других объектах инфраструктуры.

Социально-экономические и военно-политические кризисы: эпидемии и пандемии; сокращение импортных поставок сырья, электроэнергии и энергоносителей; межнациональные и межконфессиональные конфликты; террористические акты и угрозы их совершения; крупномасштабные забастовки; инфильтрация враждебных элементов с целью дестабилизации внутренней обстановки; массовое недовольство населения и уличные беспорядки; военно-политическая напряженность на государственных границах; захват заложников; активизация организованной преступности, алкоголизма и наркомании; волнения и беспорядки в исправительных учреждениях; угрозы продовольственной безопасности; экономические санкции со стороны других государств; бойкот национального экспорта; массовая нелегальная миграция и трафик наркотиков.

Отдельные события из перечисленных групп могут быть причиной возникновения целого комплекса других лавинообразно развивающихся негативных событий, что в случае непринятия оперативных мер по стабилизации первичной чрезвычайной ситуации может привести к неконтролируемому разрастанию её масштабов и негативных последствий и создавать реальные угрозы национальной безопасности [1-3].

Предварительный анализ проблем и задач, которые необходимо решать в чрезвычайных ситуациях в различных предметных областях и существующих теоретических методов и подходов их решения показывает, что в рамках существующих теорий и методологий управления сложными объектами (СЛО) эти вопросы, как отдельный предмет исследований с позиций единой общесистемной точки зрения практически не рассматривался [1]. При этом покрывающая их предметная область имеет целый ряд существенных особенностей, кардинально отличающей её от предмета исследования существующих теорий управления СЛО. Среди них можно указать, в частности, следующие особенности [1]:

- чрезвычайные и катастрофические ситуации, как правило, трудно предсказуемы и возникают внезапно (временная неопределенность в обеспечении готовности к управлению);

- масштабы связанных с ними негативных последствий также трудно прогнозируемы; они могут быстро разрастаться со временем и иметь различные отдаленные негативные последствия для разнородных, в том числе территориально распределенных объектов (неопределенность границ и содержания предметной области);

- информация о таких ситуациях, как правило, неполна, имеет неопределенный, противоречивый и плохо предсказуемый по своему составу и объему характер, а также поступает в систему управления СЛО с различными временными задержками (неопределенность в идентификации текущих состояний и ситуаций);

- принятие решений в таких ситуациях осуществляется в условиях жесткого лимита времени, рисков и различных ограничений в возможностях выбора и реализации управляющих воздействий и т.п.

Учет этих и ряда других специфических особенностей процессов управления сложными системами в чрезвычайных и катастрофических ситуациях требует *разработки принципиально новых, специальных принципов и методов мониторинга, анализа, многовариантного прогнозирования ситуаций, а также разработки альтернативных вариантов управляющих решений, процедур их многокритериального выбора и реализации* [1].

Так, например, анализ показывает, что традиционные диагностические системы, используемые при поиске причин возникновения аварийных ситуаций, возникающих в СЛО, концептуально являются системами, констатирующими отказы, неисправности, дефекты и ориентированными на диагностику штатных режимов их функционирования. При этом в ходе работы данных диагностических систем не анализируется ряд важнейших свойств динамики функционирования СЛО в условиях ЧС. В частности, не учитываются специфика изменения их характеристик при появлении нерасчетных нештатных ситуаций, вызванных внезапным переходом СЛО в состояние динамического хаоса и требующих для парирования учета «тонкой» структуры динамики механизмов нагружения, старения и разрушения материалов и конструкций данных объектов, а также ряд других практически важных свойств динамики СЛО в рассматриваемых условиях [2]. Остаются также открытыми множество концептуальных проблем, связанных с управлением структурной динамикой СЛО при их различных деградациях, оценкой и прогнозированием рисков возникновения нештатных и критических ситуаций, а также рисков выбора и реализации соответствующих управленческих решений и т.п. [3, 4].

Потребности общества в решении этих проблем чрезвычайно велики, т.к. от этого сегодня во многом зависит способность в предотвращении и локализации различных ЧС, а, следовательно, и его благополучие. Общесистемный анализ существующих подходов к решению этих и других задач, составляющих

рассматриваемую проблему, показывает, что в настоящее время уже сформировались необходимые условия для разработки нового междисциплинарного научного направления – *теории проактивного (упреждающего) управления сложными объектами в чрезвычайных ситуациях, предметом исследований которой являются методология, методическое обеспечение и технологии проактивного управления указанными объектами* [3-10].

1. Методологические и методические основы теории проактивного управления сложными объектами в чрезвычайных ситуациях

В основу методологии разрабатываемой прикладной теории предлагается положить три фундаментальные системно-кибернетические концепции [4, 5, 11-14].

Первая концепция – это **концепция комплексного (системного) моделирования СЛО в условиях ЧС**. Она предполагает разработку и реализацию новых принципов, подходов к проведению полимодельного логико-динамического описания различных вариантов построения и использования СЛО, а также разработку и комбинированное использование методов, алгоритмов и методик многокритериального анализа, синтеза и выбора наиболее предпочтительных проактивных управленческих решений (в том числе и ориентированных на их конфигурирование и реконфигурацию), связанных с созданием, использованием и развитием рассматриваемых объектов в условиях динамически изменяющейся внешней и внутренней обстановок.

В качестве второй базовой концепцией была выбрана **концепция проактивного (упреждающего) управления структурной динамикой СЛО** в изменяющихся условиях, вызванных воздействием возмущающей среды и приводящих к возникновению ЧС [4]. Проактивное управление, в отличие от традиционно используемого на практике реактивного управления СЛО, ориентированного на оперативное реагирование на уже произошедшие негативные события и недопущение их последующего развития, предполагает упреждающее предотвращение причин возникновения инцидентов за счёт создания (либо целенаправленного поиска) в соответствующей системе проактивного мониторинга и управления новых системно-функциональных резервов, обеспечивающих динамическое формирование принципиально новых возможностей по парированию возможных расчетных и нерасчетных нештатных и аварийных ситуаций, с использованием методологии и технологий системного (комплексного) моделирования, а также многовариантного ситуационно-адаптивного прогнозирования.

Еще одной используемой авторами доклада концепцией является **концепция интеллектуализации проактивного управления СЛО в ЧС**, предусматривающая в качестве условий эффективного управления СЛО необходимость применения интеллектуальных инструментов управления (новых интеллектуальных информационных технологий), носящих ярко выраженный инновационный характер и направленных на достижение комплексной интеграции естественного и искусственного интеллектов [6-11,15]. Наряду с разработанной методологией в докладе представлены полимодельное логико-динамическое описание задач синтеза технологий и программ проактивного управления СЛО, а также комбинированные методы и алгоритмы совместного и раздельного решения указанных задач, а также задач оценивания возможностей и обеспечения требуемого (оптимального) уровня показателей надежности, живучести, устойчивости и в целом эффективности рассматриваемых процессов в условиях ЧС.

Проведенные исследования также показали, что в методологию теории проактивного управления сложными объектами в чрезвычайных ситуациях наряду с перечисленными концепциями целесообразно включить структурно-математический и категорийно-функторный подходы. А также системный подход и его концепции и

принципы, включающие в себя: принципы неокончателных решений, поглощения разнообразия, иерархической компенсации, дополнительности, полимодельности и многокритериальности, самоподобного рекурсивного описания и моделирования объектов исследования, гомеостатического баланса взаимодействия; преодоление принципа разделения; принципы, положенные в основу создания онтологий; принципы Ле-Шателье–Брауна. Разработка методических основ разрабатываемой прикладной теории, потребовали от авторов доклада перехода на принципиально новый (по сравнению с классическими подходами) уровень и технологии организации процессов управления СлО в условиях ЧС, а именно, уровень управления сложностью [4-5,12-14]. Для реализации данной концепции управления предлагается два направления – сужение разнообразия воздействий внешней среды на СлО и расширение разнообразия управляющих воздействий на СлО.

В рамках *первого направления* наиболее перспективными являются методы, ориентированные на полимодельное описание конкретной предметной области; классификацию и упорядочение моделей, установление взаимосвязей между ними, базирующиеся на поиске рациональных многокритериальных решений (компромиссов) при наличии неустранимых пороговых информационных и временных ограничений, а также методы, основанные на преодолении проблем большой размерности и неопределенности при описании предметной области с использованием методов декомпозиции (композиции), агрегирования (деагрегирования), координации, аппроксимации, линеаризации, релаксации, редукции (погружения).

В *рамках второго направления* наиболее перспективными являются методы, в основу которых положены идеи самоподобного рекурсивного описания и моделирования объектов исследования (введение категорий макросостояния, структурного состояния, многоструктурного состояния), технологии дуального проактивного управления, а также управления структурной динамикой объектов (в т.ч. гибкого сочетания принципов иерархического и сетевого управления).

В отличие от известных подходов, определяющих мировой уровень моделирования процессов самоорганизации сложных объектов произвольной природы и заключающихся в применении конечномерных и рекуррентных динамических систем, в докладе предлагается сформировать новый модельно-алгоритмический уровень описания процессов проактивного управления СлО на основе некибернетического подхода как синтеза моделей целенаправленного поведения иерархических социо-экономико-производственных систем в условиях управляющих и возмущающих воздействий; сетевых моделей причинно-следственных связей между процессами наступления массовых событий в указанных системах, описывающие зависимости между эндогенными характеристиками систем; моделей самоорганизации, эволюции, равновесных состояний и динамики социо-экономико-производственных систем при отклонении от равновесного состояния под влиянием управляющих и возмущающих воздействий; логико-динамических аналитико-имитационных G моделей, управляемых мультиагентных систем [5,15-16]. Это обеспечивает ситуационное управление детализацией прогнозов поведения социо-экономико-производственных систем (СлО) в условиях ЧС и возможность выбора интервала прогнозирования, согласованного с заданным уровнем детализации, позволило анализировать процессы эволюции, конфигурации и реконфигурации СлО. На рис. 1 представлена обобщенная структура специального модельно-алгоритмического обеспечения (СМАО) информационно-аналитической системы (ИАС). В ее основу положена разработанная авторами доклада новая прикладная теория проактивного управления сложными объектами в чрезвычайных ситуациях.



Рис. 1. Обобщенная структура СМАО ИАС для решения задач комплексного моделирования и проактивного управления СЛО в условиях ЧС

К настоящему времени существует несколько вариантов практической реализации данной платформы применительно к различным предметным областям (космонавтика, производственные системы, государственное управление, транспортно-логистические комплексы, моделирование и прогнозирование ЧС, военно-технические системы и комплексы) [17].

Сравнительный анализ различных типов архитектур, в рамках которых возможна реализация рассматриваемой инструментально-моделирующей системы (ИАС), показал, что системы данного класса наиболее целесообразно строить на базе сервис-ориентированного подхода с использованием принципов модульности и открытости [5, 10, 17]. Принципиально важным в рассматриваемом случае является тот факт, что создаваемые для комплексного моделирования и проактивного управления СЛО в условиях ЧС информационно-аналитические системы должны быть распределенными – как в смысле используемых вычислительных ресурсов, так и, зачастую, в физическом смысле. Это связано с тем, что компоненты ИАС локализуются в территориально удаленных местах и организациях, например, единая территориально-распределенная информационная система дистанционного зондирования Земли (ЕТРИС ДЗЗ), автоматизированная информационно-управляющая система Единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС (АИУС РСЧС) и др.

На рис. 2 представлена обобщенная архитектура создаваемой ИАС.

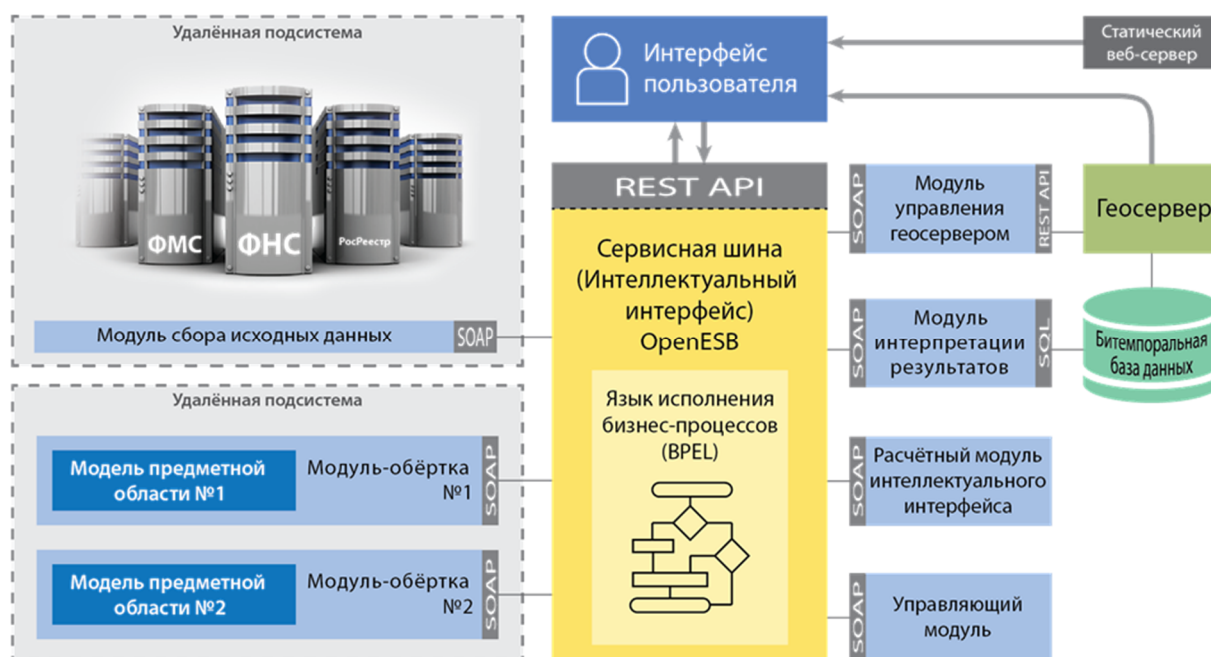


Рис. 2. Обобщенная архитектура ИАС для решения задач комплексного моделирования и проактивного управления СЛО в условиях ЧС

Рассмотрим пример дальнейшей детализации архитектура ИАС, представленной на рис. 2, применительно к задачам комплексного моделирования и прогнозирования речных наводнений.

2. Пример решения задач комплексного моделирования и прогнозирования речных наводнений

Одним из наиболее характерных и распространенных видов чрезвычайных ситуаций являются речные наводнения, вызванные таянием снега, ливнями, и другими причинами. Частота возникновения и тяжесть последствий данного вида чрезвычайных ситуаций остаётся высокой. В России ежегодно происходит 40–70 крупных наводнений. По данным Росгидромета, этим стихийным бедствиям подвержены около 500 тыс. км², наводнениям с катастрофическими последствиями – 150 тыс. км², а это порядка 300 городов, десятки тысяч населённых пунктов, большое количество хозяйственных объектов, более 7 млн. га сельхозугодий. Среднегодовой ущерб от наводнений оценивается примерно в 40 млрд. руб [18]. Согласно исследованию ФГБУ «ВНИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных», суммарно число опасных гидрологических явлений (наводнений, паводков и селей) за первое десятилетие XXI в. в России выросло в 1,5 раза по сравнению с 1990-ми годами. В то же время по-прежнему наблюдается дефицит разработок и прикладных систем, позволяющих оперативно и наглядно предоставлять лицам, принимающим решения, максимально достоверную информацию о будущем развитии опасных ситуаций [19].

С точки зрения решения задач мониторинга и прогнозирования состояния СЛО наводнениям присущи все рассмотренные выше основные особенности развития ЧС и требования к системам моделирования: необходимость применения полимодельного подхода; большой объем и разнородность исходных данных для моделирования – как наземных, так и аэрокосмических; территориальная распределенность; необходимость обеспечения высоких достоверности и оперативности прогноза; сниженные требования к квалификации пользователей, которыми могут быть не только профессиональные метеорологи и специалисты по обработке данных, но и специалисты служб по ЧС, местных администраций, и др.

К настоящему времени практический опыт использования математического моделирования речных наводнений на территории Российской Федерации крайне

ограничен как в службах по ЧС, так и в административных органах федерального и местного уровней [19-21]. Основные причины этого связаны с рядом особенностей российских рек, не позволяющих использовать напрямую широко известные в мировой практике модели развития наводнений, а также с недостаточной проработкой вопросов создания автоматизированных систем моделирования в данной области. К таким особенностям относятся, в первую очередь, разреженная сеть гидрологических и метеопостов, а также наличие на реках трудно прогнозируемых ледовых явлений, существенно влияющих на характеристики распространения воды по руслам и поймам рек. В последние годы российскими специалистами, в первую очередь, в Институте водных проблем РАН и МГУ им. М.В. Ломоносова получены существенные результаты по разработке математических моделей развития наводнений на российских реках. Полученные решения успешно апробированы, однако носят локальный характер, не интегрированы с другими необходимыми компонентами систем моделирования, и применимы для отдельных участков русел рек и водосборных бассейнов. Результаты моделирования, которые формируются в виде отчетов уже после произошедших наводнений, как правило, доступны узкому кругу разработчиков и исследователей, и в редких случаях предоставляются по запросу специалистам гидрометеослужб.

Широкое применение этих результатов требует адаптации соответствующих моделей и создания ИАС с реализацией полного цикла моделирования – от сбора исходных гидро- и метеоданных до формирования контуров и глубин затопляемых территорий на цифровой картографической основе с оцениванием возможного ущерба и оповещением заинтересованных лиц и организаций.

На рис. 3 представлена детальная архитектура разработанной ИАС. В рамках ее были в полной мере реализованы: 1) основные положения разработанной авторами доклада новой прикладной теории проактивного управления сложными объектами в чрезвычайных ситуациях и 2) проведена оперативная адаптация существующих гидрологических и гидродинамических моделей применительно к конкретно складывающимся условиям обстановки на конкретном участке реки (рис. 4).

Точное и достоверное описание процесса прогнозирования речного наводнения при использовании многомодельного подхода достигается за счёт комбинированного использования моделей, каждая из которых даёт лучший результат в каждой конкретной ситуации. Для достижения позитивного эффекта от комбинированного использования было разработано научно-методическое и программное обеспечение многокритериального оценивания качества моделей, выбора из числа уже существующих моделей наиболее предпочтительных на каждом этапе моделирования и настройки параметров моделей в процессе их использования. Такой подход позволил реализовать достоинства одних моделей и компенсировать недостатки других. Однако при использовании полимодельного подхода, вместе с потенциальным повышением точности и достоверности результатов прогнозирования, возникают дополнительные проблемы. В частности, появляется необходимость решения задач выбора, согласования и настройки моделей как на модельно-алгоритмическом, так и программно-информационном уровнях описания. При этом возникающая в условиях речных наводнений необходимость принятия решений в короткие сроки приводит к тому, что на первый план выходит важность получения достоверного и точного прогноза в режиме реального времени или близкого к нему.

В ходе экспериментальных исследований с разработанным полнофункциональным программным прототипом (ПП) ИАС комплексного моделирования речных наводнений (включая совокупность компонентов – программных модулей, реализующих предложенные технологии интеграции разнородных данных, алгоритмы обработки спутниковых данных, формирования

функциональной структуры РСКМ, интерпретации и предоставления результатов пользователям и др.) было установлено, что рассматриваемый ПП полнофункционален и обеспечивает автоматизацию решения задач оперативного мониторинга и прогнозирования развития речных наводнений.

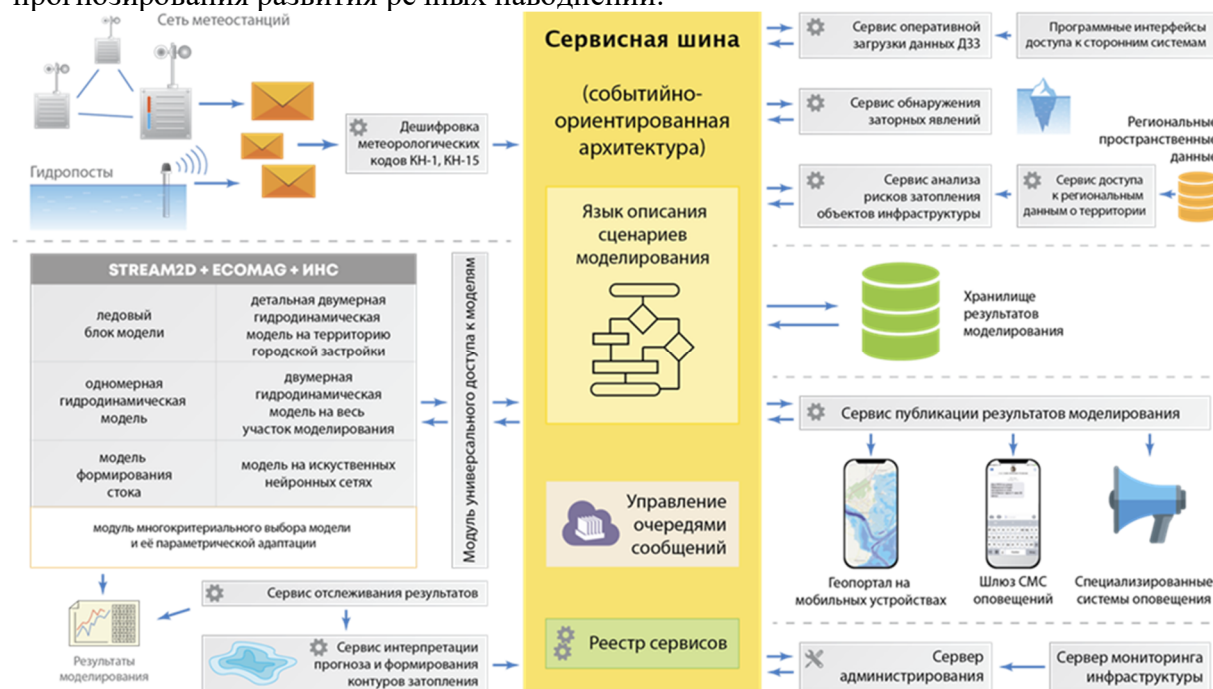


Рис. 3. Архитектура ИАС для решения задач комплексного моделирования и прогнозирования речных наводнений

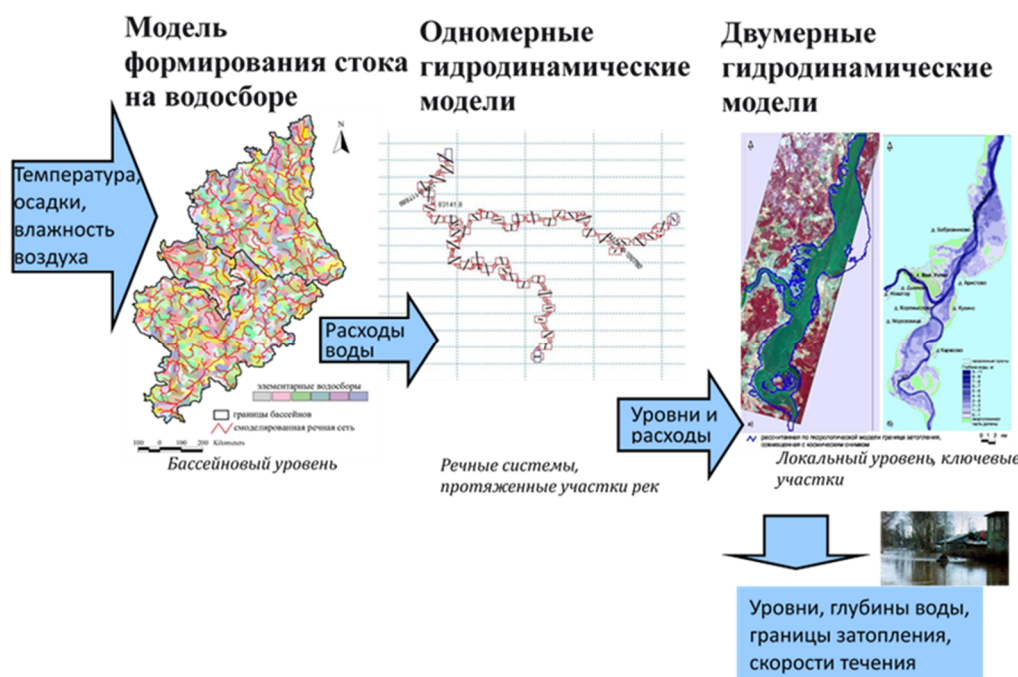


Рис. 4. Обобщенная структура исходных данных системы моделей, используемых для прогнозирования наводнений в бассейне р. Северная Двина [19]

Данный ПП формирует ежечасный круглосуточный прогноз зон и глубин затоплений на 24-48 часов вперед в оперативном режиме. Возможен также сценарный режим работы по принципу: что произойдет, если на гидропостах уровни воды примут

то или иное конкретное значение, или возникнет определенное сочетание ледовых заторов и их сходов.

Реализованная ИАС речных наводнений структурно представляла собой территориально распределенный комплекс аппаратно-программных средств, компоненты которого располагались на территории Архангельской и Вологодской областей (гидропосты и автоматизированные гидрологические комплексы (АГК)), в Москве (компоненты, реализующие сервисы гидрологического моделирования), а также в Санкт-Петербурге (сервисы сбора и интегрированной обработки наземно-аэрокосмических данных, модели ИНС, управляющие и интегрирующие компоненты системы, сервисы интерпретации и визуализации результатов моделирования).

На рис. 5 и 6 представлены примеры интерфейсов входных и выходных данных, реализованных в рамках данного ПП.

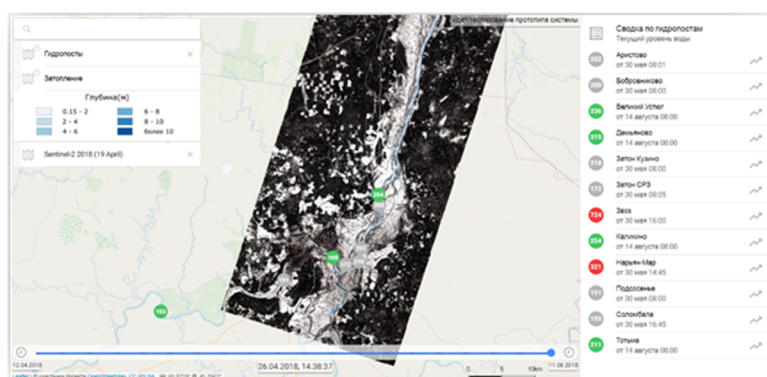


Рис. 5. Вид интерфейса ИАС с загруженными данными дистанционного зондирования Земли

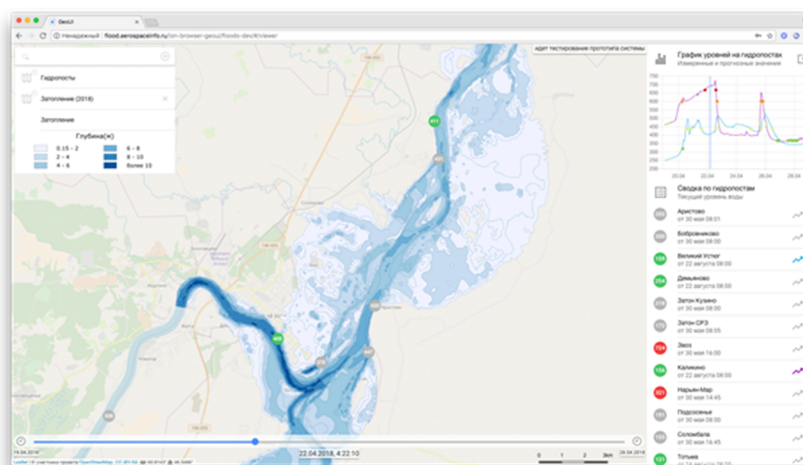


Рис. 6. Вид интерфейса ИАС с результатами моделирования различных сценариев протекания речного наводнения в бассейне Северной Двины

Принципиальная отличительная особенность разработанного ПП заключается в полной автоматизации всех этапов работы распределенных компонентов системы комплексного моделирования и организации их совместной работы, включая загрузку данных с гидропостов (автоматизированных гидрологических комплексов) и метеоданных, формирование контуров и глубин затоплений, их публикацию на ГИС-платформе, выполнение моделирования с определением зон и глубин затоплений, определение состава попадающих в зону затопления объектов, оповещение заинтересованных лиц. За счёт автоматизации и облегченного интерфейса обеспечивается максимальная простота работы с системой пользователя, не

являющегося специалистом в области гидрологии, обработки данных, информационных и ГИС-технологий. В систему оперативно загружаются космические снимки с российских и зарубежных спутников дистанционного зондирования Земли. Обработанные и опубликованные космоснимки дают возможность оценить точность моделирования и оперативно настроить параметры моделей.

Созданный ПК прошел экспериментальную проверку при мониторинге и прогнозировании речных наводнений на Северной Двине на исторических исходных данных 1998-2019 гг. и в режиме реальных наводнений в 2018 г., в том числе опытное использование в интересах исполнительных органов государственной власти Архангельской и Вологодской областей для оперативного прогнозирования весенних паводков и в ходе упреждающих действий по их ликвидации.

Заключение

В предлагаемом докладе на основе анализа современных тенденций, происходящих в системной отрасли научных знаний и вызванных новым этапом развития и интеграции современного менеджмента и кибернетики, сформулирована актуальная фундаментальная научная проблема разработки научных основ новой теории проактивного (упреждающего) управления сложными объектами в чрезвычайных ситуациях, предметом исследований которой являются методология, методическое обеспечение и технологии проактивного управления указанными объектами, являющимися интеллектуальным ядром информационно-аналитических систем повсеместно создаваемых в ситуационных центрах, центрах управления регионом, центрах компетенций [22].

В основу методологии разрабатываемой прикладной теории предлагается положить три фундаментальные системно-кибернетические концепции:

- концепцию комплексного (системного) моделирования СЛО в условиях ЧС;
- концепцию проактивного (упреждающего) управления структурной динамикой СЛО;
- концепцию интеллектуализации проактивного управления СЛО в ЧС.

Для практической реализации перечисленных концепций проактивного управления предлагается два направления – сужение разнообразия воздействий внешней среды на СЛО и расширение разнообразия управляющих воздействий на СЛО.

Предложенный подход является обобщением принципа необходимого разнообразия Р. Эшби.

Обоснована структура создаваемой ИАС для решения задач комплексного моделирования и проактивного управления СЛО в условиях ЧС, которая была конкретизирована на примере ИАС для оперативного решения задач прогнозирования речных наводнений.

Принципиальная отличительная особенность разработанной ИАС заключается в полной автоматизации всех этапов работы распределенных компонентов системы комплексного моделирования и организации их совместной работы, включая загрузку данных с гидропостов и метеоданных, формирование контуров и глубин затоплений, их публикацию на ГИС-платформе, выполнение моделирования с определением зон и глубин затоплений, определение состава попадающих в зону затопления объектов, оповещение заинтересованных лиц.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке Программы НТС Союзного государства «Интеграция-СГ»

(проект «Интеграция-СГ-3.2.4.1»), гранта РФФИ №19–08–00989 и в рамках бюджетной темы № 0073–2019–0004.

Литература

1. Рекомендации по организации и ведению органами управления РСЧС мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций: издание официальное: утверждены заместителем Министра от 18.02.2015 N 2-4-87-10-14 / разработаны авторским коллективом ФКУ ЦСИ ГЗ МЧС России. – М: МЧС России, 2015.
2. **Юсупов Р.М.** Наука и национальная безопасность. – СПб.: Наука, 2006. – 290 с.
3. **Панкратова Н.Д., Курилин Б.И.** Концептуальные основы системного анализа рисков в динамике управления безопасностью сложных систем // Проблемы управления и информатики. 2000, №6. Сс.120-132.
4. **Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Комплексное моделирование рисков при выработке управленческих решений в сложных организационно-технических системах // Проблемы управления и информатики. 2006, №1. С.1-22.
5. **Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов – М.: Наука, 2006. – 410 с.
6. **Микони С.В., Соколов Б.В. Юсупов Р.М.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. – М.: Наука, 2018 г.
7. **Mancilla R.** Introduction to Socio-cybernetics (Part 1)// Journal of Socio-cybernetics. 2011. Vol.42. № 9. P. 35-36.
8. **Edward A. Lee** Cyber Physical Systems: Design Challenges // International Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC) May 6, 2008, Orlando, FL,USA. P. 245-257.
9. **Хиценко В.Е.** Самоорганизация: элементы теории и социальные приложения. М.: КомКнига, 2005. – 224 с.
10. **Черняк Л.** От адаптивной инфраструктуры – к адаптивному предприятию // Открытые системы, октябрь, 2003.
11. **Новиков Д.А.** Теория управления организационными системами. -3-е издание.- Физматлит, 2012. – 604 с.
12. **Бир С.** Мозг фирмы. – М.:УРСС, 2005. – 315 с.
13. **Бир С.** Кибернетика и менеджмент. – М.:УРСС, 2007. – 246 с.
14. **Герасименко В.А.** Информатика и интеграция в технике, науке и познании // Зарубежная радиоэлектроника, 1993. № 05. С. 22-42.
15. **Hyotyniemi H.** Neocybernetics in Biological Systems. – Espoo: Helsinki University of Technology, Department of Automation and Systems Technology, Control Engineering Laboratory, 2006. 275 p.
16. **Юсупов Р.М., Соколов Б.В.** Проблемы развития кибернетики и информатики на современном этапе / Сб. «Кибернетика и информатика». СПб.: Издательство СПбГПУ, 2006. С. 6-21.
17. <http://litsam.ru>.
18. Паводки, наводнения и подтопления в России в 2012-2017 гг. Досье. – Текст: электронный // ТАСС: информационное агентство России: [сайт]. - URL: <https://tass.ru/info/4291130> (дата обращения: 16.07.2021).
19. **Зеленцов В.А., Алабян А.М., Крыленко И.Н., Пиманов И.Ю., Пономаренко М.Р., Потрясаев С.А., Семёнов А.Е., Соболевский В.А., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.** Модельно-ориентированная система оперативного прогнозирования речных наводнений // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 8. С. 831-843. DOI: 10.31857/S0869-5873898831-843.

20. **Зеленцов В.А., Потрясаев С.А.** Архитектура и примеры реализации информационной платформы для создания и предоставления тематических сервисов с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Труды СПИИРАН. 2017. Вып. 55. С. 86-113.
21. **Зеленцов В.А., Ковалев А. П., Пиманов И.Ю.** Иерархическая система управления развитием территорий с использованием разнородных пространственных данных // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 11. С. 944-951.
22. Система распределенных ситуационных центров как основа цифровой трансформации государственного управления «СРСЦ-2017». Труды Всероссийского Форума, Санкт – Петербург, 25-27 октября 2017 г. / Научный совет по информатизации Санкт-Петербурга. СПб, 2018. С.11-13. ISBN 978-5-907050-74-7.