

ЭКСПЕРТНАЯ ГИС ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПАВОДКООПАСНЫХ СИТУАЦИЯХ ДЛЯ ТЕРРИТОРИЙ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

Л. Ф. Ноженкова, В. В. Ничепорчук

EXPERT GIS FOR DECISION-MAKING SUPPORT IN FLOODS FOR THE SIBERIAN REGION

L. F. Nozhenkova, V. V. Nicheporchuk

Представлена Экспертная геоинформационная система "Паводки", предназначенная для анализа данных мониторинга паводковой обстановки на территории Сибири, а также информационной поддержки принятия решений по проведению предупредительных и аварийно-спасательных мероприятий в ЧС, связанных с затоплением территорий.

The expert geoinformation system "Flood" is described. The system keeps the functions of analyzing the monitoring data of flood circumstances in Siberia and providing decision-making informational support for preventive and rescue actions in emergencies (flooding).

Ключевые слова: затопление территорий, Сибирский регион, интеграция технологий, средства анализа данных, геоинформационные системы, базы знаний.

Keywords: flooding, Siberian region, integration of technologies, data analysis tools, geoinformation systems, knowledge bases.

Введение

Сибирский регион, обладая обширной территорией, расположенных в различных климатических зонах, развитой сетью водных объектов, большим количеством гидротехнических сооружений (ГТС), подвержен широкому спектру природных чрезвычайных ситуаций (ЧС). Наиболее характерными из них являются весенне-летние паводки, аварии на малых ГТС, вызывающие затопления территорий, объектов и инфраструктуры [3].

Большое количество населенных пунктов Сибири, объектов, транспортных коммуникаций находятся в долинах рек, поэтому опасность наводнений находится на высоком уровне. Ежегодный ущерб от затоплений территорий только для Красноярского края составляет более 50 млн. руб. Смягчить последствия стихии, предотвратить значительные ущербы может комплексный подход к проведению предупредительных и оперативных противопаводковых мероприятий.

Управление территориальной безопасностью должно быть обеспечено комплексной информационной поддержкой. В повседневном режиме функционирования это данные мониторинга гидрологической, метеорологической и ледовой обстановки и прогнозы характера прохождения паводков различной срочности, зонирования территории по степени риска ЧС, сценарии затоплений территории различной обеспеченности. На основании этой информации планируются превентивные мероприятия, определяется их приоритетность, объем и стоимость, проводится перегруппировка сил и средств, подготовка материальных, финансовых и других резервов [7]. В режиме ЧС формируются оперативные данные о динамике и последствиях затопления территорий, варианты минимизации потерь и ущербов.

Существующие в настоящее время автоматизированные информационные системы предназначены для решения отдельных задач управления. Это анализ данных мониторинга, сбор данных об инфраструктуре территорий, моделирование зон затопления. Например, комплекс программ, созданных в Датском метеорологическом институте, позволяет оценить последствия прорывов плотин дамб, параметры затопления и нанести на карты районы стихийного бедствия [1]. Однако они адаптированы для рек Европы с небольшими расходами воды в створах, интенсивным хозяйственным использованием и требуют большого количества исходных данных, что проблематично для малоизученных рек Сибири. Подобные системы разработаны и в Американском институте исследований окружающей среды (ESRI), как дополнительные модули к широко известной программе ArcGIS [2, с. 288 – 292]. Широкую известность получила система CHECK-RAS моделирования затопления территорий, расчета высоты волны прорыва и зон затопления при авариях на гидротехнических сооружениях. Система выполняет также расчет масштабов эрозии почв, возникающей вследствие ливневых паводков, а также оценку рисков затоплений прибрежных территорий, вызванных ветровыми нагонами. Программа может быть использована в качестве расчетного модуля при формировании решений по ликвидации ЧС, однако требует специализированной подготовки в области гидрологии [3].

В России по заказу МЧС ряд организаций (Центр исследования экстремальных ситуаций, Академия им. В. Куйбышева и другие) разработали ряд программ, моделирующих ситуации, связанные с затоплениями территорий [11].

Фрагментарное решение задач поддержки принятия решений, отсутствие упорядоченных информационных ресурсов и достаточной методической базы снижает эффективность управления безопасностью.

Для эффективного предотвращения ЧС, связанных с затоплениями территорий, смягчения последствий наводнений необходимо дальнейшее развитие региональной системы мониторинга и прогнозирования, создание единого информационного пространства для межведомственного обмена данными мониторинга и прогноза обстановки [5, с. 46 – 54]. Эти задачи определены нормативными документами [8, 10]. Перечислим основные из них:

1. формирование банков данных об источниках ЧС, создание специализированных геоинформационных систем, ведение и актуализация баз данных о ЧС;
2. сбор, обработка и анализ информации об источниках ЧС и показателях риска возникновения ЧС;
3. оценка последствий ЧС, формирование рекомендаций по управлению рисками ЧС и реализации комплекса мер, направленных на предупреждение ЧС и снижение негативных последствий при их возникновении;
4. разработка типовых сценариев возникновения и развития ЧС и оценка риска их возникновения.

Экспертная геоинформационная система "Паводки" может служить прототипом единой автоматизированной системы анализа данных комплексного мониторинга ЧС и оперативного контроля обстановки. В статье описаны: состав системы, принципы ее построения, примеры решения задач в различных режимах функционирования.

Использование информационных ресурсов для оценки опасностей и управления в ЧС

Информационная среда системы «Паводки» содержит: разнообразные базы данных, пространственную информацию, банк сценариев ЧС, реализованный в виде базы знаний. Таблицы базы данных сгруппированы по 5 классам: справочники, источники и реципиенты риска, сети и данные мониторинга обстановки, силы и средства предупреждения и ликвидации ЧС (таблица 1). Большинство объектов баз данных имеет картографическую привязку (координаты или единый идентификатор объекта). Это позволяет строить карты с произвольным набором тематических слоев и оперативным доступом к атрибутивной информации по каждому пространственному объекту.

Таблица 1

Основные сущности базы данных системы «Паводки»

№	Наименование таблиц	Функциональные задачи, в которых используются информационные ресурсы
Справочники		
1	Территориальный справочник населенных пунктов (ОКАТО)	Территориальная привязка объектов и событий
2	Гидрологический справочник (водоемы и водотоки)	
3	Классификатор чрезвычайных ситуаций МЧС РФ	Формализация данных мониторинга для построения аналитических моделей
Источники риска		
1.1	Гидротехнические сооружения	Мониторинг состояния ГТС, оценка возможных последствий аварийных ситуаций, подготовка предложений по мероприятиям на объектах
1.2	Заторо- и зажооропасные участки	Оценка вероятностей ЧС при мониторинг движения кромки ледостава, формирование сценариев затопления территорий
1.3	Ледовые переправы	
Характеристика территорий		
2.1	Населенные пункты	Оценка последствий возможных ЧС (уязвимости территорий), формирование рекомендаций по действиям в условиях ЧС
2.2	Автодороги, мосты	
	Объекты жизнеобеспечения населения (водо- и теплоснабжения)	
Мониторинг обстановки		
3.1	Метеорологическая обстановка	Визуализация динамики изменения обстановки, отслеживание резких изменений контролируемых параметров
3.2	Гидрологическая обстановка	
3.3	Режимы работы ГЭС	
3.4	Мониторинг толщины льда	Оценка вероятности возникновения заторов при вскрытии рек и подвижек льда в зимний период
3.5	Архив наводнений и высоких уровней воды	Поиск прецедентов, года-аналога при долгосрочном прогнозировании ЧС на всех территории субъекта РФ

Силы и средства предупреждения и ликвидации ЧС		
4.1	Данные по аварийно-спасательным формированиям	Формирование рекомендаций по действиям в условиях ЧС, списков оповещения должностных лиц, оценка возможностей спасформирований
4.2	Телефонные справочники	
4.3	Планы эвакуации населения, животных, материальных ценностей	
4.4	Предупредительные мероприятия	Оценка степени защищенности территорий, приоритетности выполнения мероприятий, формирования рекомендаций по ликвидации последствий затопления территорий
4.5	Материально-технические и финансовые резервы	
4.6	Пункты временного размещения пострадавших	

Информация, представленная в базах данных, имеет различный регламент актуализации, установленный нормативными документами МЧС РФ. Данные по территориям и характеристики подразделений корректируются один раз в год перед наступлением весенних паводков, данные мониторинга обстановки – ежедневно, информация о ЧС заносится немедленно при поступлении. Всего в системе представлено более 100 таблиц, использующихся для решения функциональных задач в различных режимах функционирования.

Система использует также большое количество картографических ресурсов. Для отображения гидрологических процессов на территории субъектов используются карты М1:1 000 000. Карты двухкилометрового масштаба используются для моделирования обстановки в отдельном муниципальном районе либо на каком-либо участке реки. Цифровые планы населенных пунктов М1:10 000 служат для детальной оценки последствий возможных затоплений территорий и моделирования ЧС локального масштаба. В результате моделирования зон затопления населенных пунктов с соответствующим информационным наполнением возможно проведение оценок количества пострадавшего населения, прямого ущерба от повреждения инфраструктуры и косвенного ущерба от нарушения жизнедеятельности. Для моделирования зон затопления используются цифровые модели рельефа. Они представляют собой попиксельные матрицы поверхности с точностью 1 – 3 метра, разработанные на основе данных спутникового зондирования SRTM.

Используя комбинированные цифровые карты различных масштабов с цифровыми моделями рельефа, можно смоделировать контуры зоны затопления, а в результате серии картографических запросов сформировать список объектов, попадающих в зону затопления. Новизна данной модели состоит в том, что помимо горизонтального поднятия уровня воды (заполнение водохранилищ), она учитывает прохождение волны паводка с учетом уклона реки. Это позволяет получать адекватную картину затопления для больших территорий при прохождении волны половодья, строить различные карты рисков ЧС, оперативной обстановки, использовать фрагменты карт для формирования отчетных документов.

Базы знаний экспертной системы описывают ситуацию в виде фреймов, представляющих собой набор слотов и процедур их обработки. В момент чрезвычайной ситуации она формирует необходимые решения по управлению в ЧС, обращаясь к другим модулям системы. Необходимая информация о месте ЧС и характеристиках формирований извлекается из баз данных, последствия ЧС моделируются в ГИС и с помощью расчетных методик, рекомендации по действиям в ЧС формируются на основе баз знаний. Недостающая информация может запрашиваться у пользователя, который инициирует процесс вывода. Вывод представляет собой эстафету присоединенных процедур, которые автоматически вызывают необходимые модули системы.

Разработан редактор баз знаний, позволяющий создавать модели ситуаций непосредственно из оболочки программы. Для актуализации и пополнения баз данных разработана технология распределенного сбора данных, импорта данных в хранилище в автоматическом и ручном режимах.

Работа системы в различных режимах функционирования показана на рисунке 1.

Экспертная геоинформационная система «Паводки»

Режим работы	Зонирование территорий	Мониторинг	Поддержка действий в ЧС
Функциональные задачи	Полевые обследования территории	Визуализация оперативной обстановки	Оперативное моделирование затоплений
	Картографический анализ	Анализ данных	Формирование рекомендаций по управлению в ЧС
Использование результатов	Определение приоритетных мероприятий по предупреждению ЧС	Контроль оперативной обстановки	Спасательные работы, ликвидация последствий ЧС
Мероприятия	долгосрочные	оперативные	экстренные

Рис. 1. Функциональные задачи, решаемые системой в различных режимах функционирования

Набор решаемых функциональных задач информационного обеспечения поддержки управления позволяет использовать экспертную ГИС «Паводки» при планировании и проведении большинства мероприятий обеспечения территориальной безопасности – от долгосрочных предупредительных, до оперативных, когда решения принимаются в условиях дефицита времени и ресурсов.

Примеры работы системы «Паводки»

Экспертная геоинформационная система «Паводки» применяется для автоматизации задач мониторинга паводковой обстановки и информационной поддержки управления в Главном управлении МЧС России по Красноярскому краю.

Планирование долгосрочных превентивных противопаводковых мероприятий (отсыпка защитных дамб, ремонт плотин, берегоукрепительные и другие работы) основано на результатах полевых обследований территорий с повышенным риском и моделирования последствий затопления различной обеспеченности. На рисунке 2 показаны результаты моделирования подъема уровня воды в реке Кан на 6 метров в районе города Зеленогорска. Такая ситуация может возникнуть при прохождении паводка 1 % обеспеченности и в результате образования затора льда перед плотиной Красноярской ГРЭС-2. Поскольку при ЧС такого масштаба затопляется обширная территория в районе городских карьеров, городской совет принял решение о внесении корректировок в генеральный план перспективной застройки города.

Подобные работы проведены для сельских населенных пунктов центральных и южных районов края и на основе оценок ущербов аварий на ГТС и затоплений населенных пунктов сформированы рекомендации по проведению противопаводковых мероприятий для Министерства природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края [9].

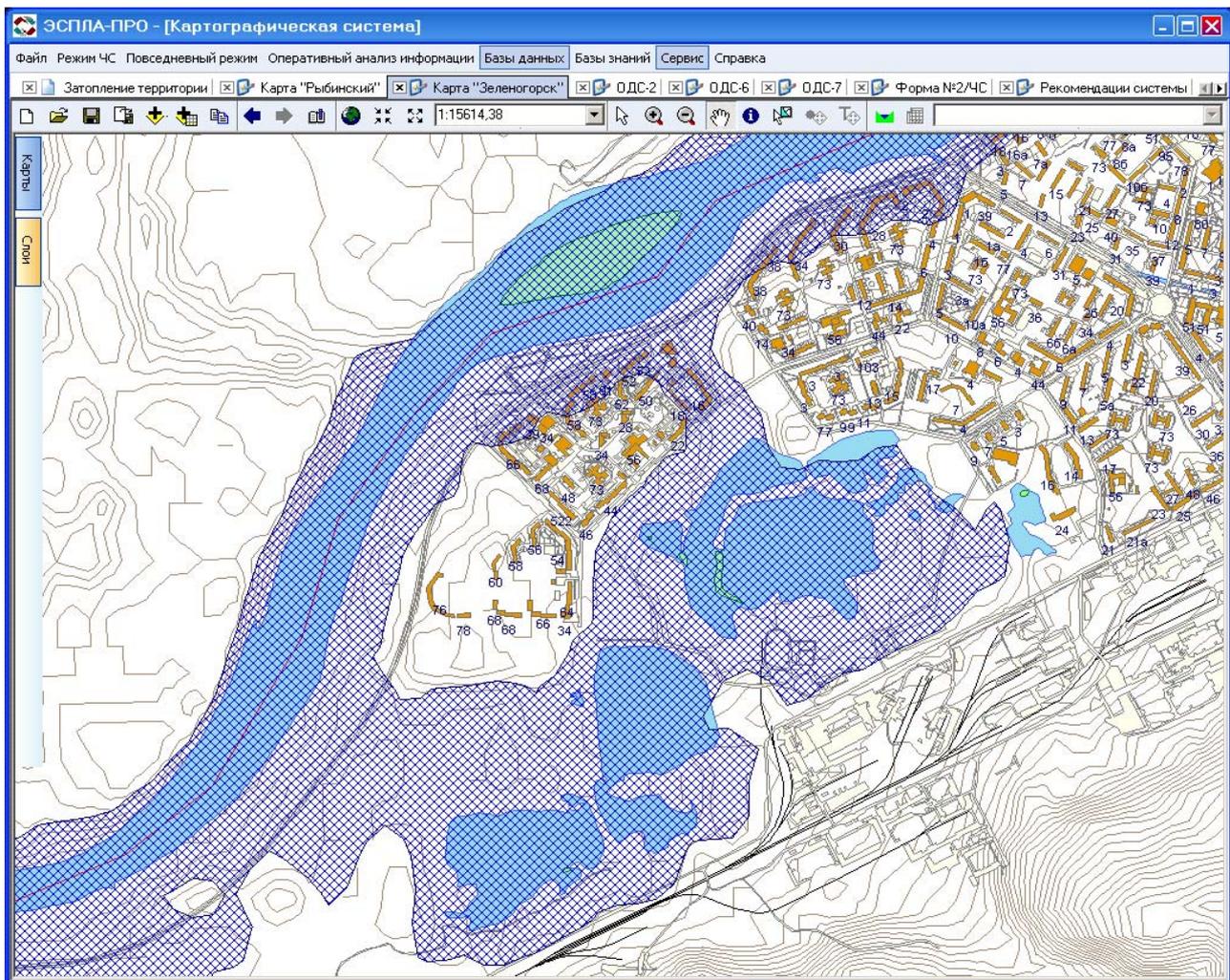


Рис. 2. Использование результатов моделирования для зонирования территорий по рискам ЧС

Мониторинг оперативной обстановки

Данные комплексного мониторинга обстановки являются основой для прогнозирования ситуации и принятия превентивных мер по защите от ЧС. Сибирский регион имеет редкую, по сравнению с европейской частью РФ, сеть метеостанций, гидрологических постов и других пунктов наблюдений. Поэтому, для получения достоверных оценок развития гидрологической обстановки важно использование всех доступных источников информации: донесений с мест, данных космического мониторинга, экспертных оценок, подготовленных на основе базы прецедентов и других материалов.

За период 2000 – 2011 гг. на территории Сибирского федерального округа зафиксировано более тысячи случаев затоплений территорий. Для паводков в Сибири характерен большой охват территории, когда при большой водности в бассейне крупной реки подтапливаются населенные пункты, как по ее берегам, так и на притоках. Другими словами, разлив одной реки (прохождение волн половодья) может сопровождаться затоплением 5 – 10 и более населенных пунктов. После постройки ГЭС это происходит, в основном, на незарегулированных реках (Иртыше, Лене, Вилюе, притоках Оби, Енисея, Ангары). В нижнем течении крупных рек часто затопления вызываются заторами льда, для предотвращения которых проводятся взрывные работы. Только на реках бассейна Енисея (включая Ангару) таких участков более 80-ти. Неудовлетворительное состояние малых гидротехнических сооружений (ГТС), прежде всего плотин водохранилищ и защитных дамб, также приводит к различного рода авариям, связанным с образованием волны прорыва, затоплением объектов и инфраструктуры территорий в нижних бьефах ГТС.

Масштаб большинства наводнений не превышает муниципального, а ущерб составляет от 1 до 50 млн. рублей. Кроме затоплений населенных пунктов (жилых, производственных зданий, объектов социально-бытового назначения) обычно затопляются и выходят из строя автодороги, мосты, ЛЭП и др., земли сельскохозяйственного назначения (в том числе огороды, садовые участки) и лесного фонда.

Ежедневный сбор информации ведется по следующим направлениям: метеорологическая, гидрологическая, ледовая обстановка, ЧС на контроле, состояние сил и средств, запасы материально-технических ресурсов, проведенные и планируемые мероприятия. Поскольку данные поступают в разных форматах, разработаны модули ввода, автоматизирующие процесс пополнения баз данных. Например, метеоданные импортируются из сети Интернет, где ежедневно публикуются данные, собираемые 5300 метеостанциями мира. Из более чем 40 параметров обстановки для оценки гидрологической обстановки используются температуры воздуха (минимальная и максимальная на сутки), осадки, толщина снежного покрова, атмосферное давление и погода на час измерений.

Модуль анализа данных мониторинга позволяет представить основные тренды в виде различных графиков и диаграмм с возможностью сравнения данных за аналогичный период прошлых лет. На основе данных вида «дата – параметр – пространственная привязка» система строит динамические карты оперативной обстановки. Пользователь может выбирать произвольный период для анализа, настраивать вид аналитических форм, сохранять их для отчетов.

За период эксплуатации системы накоплен большой объем данных оперативного мониторинга обстановки. Кроме того, в систему интегрированы архивные данные на территорию Красноярского края (прецеденты затоплений населенных пунктов за 40 лет, максимальные уровни воды и метеоданные за 100 лет, работа ГЭС с 1995 года и т. д.). Это позволило провести детальный анализ рисков затоплений, построить Паводковый атлас края, сформировать рекомендации по проведению стратегических предупредительных мероприятий по снижению рисков затоплений.

Для более детального анализа выборки из больших наборов применяются средства оперативного анализа данных (OLAP) и ГИС. Построен ряд аналитических моделей на основе данных произошедших чрезвычайных ситуаций и происшествий, их предпосылок с учетом изменения гидрологической и метеорологической обстановки. Основу аналитических моделей событий составляет гиперкуб данных, где измерениями являются территория, время, тип события, а показателями – количество, ущерб, число пострадавших и другие показатели мониторинга обстановки.

Информационная поддержка управления в условиях ЧС

Основой оценки обстановки и динамики ЧС является моделирование процесса затопления территории. В ИВМ СО РАН разработаны алгоритмические и программные средства, позволяющие на основе цифровой модели рельефа строить зоны затопления. После расчета происходит визуализация зон затопления, с учетом уклона рек на больших территориях, моделируется поднятие уровня воды в сложных гидросистемах с несколькими водотоками. Метод апробирован на территориях с различными ландшафтными условиями.

На основе картографического анализа последствий ЧС система формирует перечень подтопленных объектов, и ряд документов, в том числе: текст оповещения населения; план по эвакуации людей и материальных ценностей; данные по силам и средствам; информация о транспортном, материально-техническом и других видах обеспечения.

Работа системы «Паводки» при поступлении сигнала о затоплении территории происходит следующим образом. Дежурный оперативной смены запускает режим ЧС, выбирает из списка населенный пункт, задает уровень воды. При необходимости система задает вопросы, уточняющие обстановку (характер паводка, тип водотока и др.). В соответствии с заданной моделью ситуации экспертная система выполняет следующие действия:

- запрашивает у пользователя тип ЧС и в зависимости от этого загружает необходимый модуль расчета масштабов аварии;
- производит расчет зон действия поражающих факторов ЧС, выводит отчет результаты моделирования;
- запрашивает у пользователя информацию о месте аварии;
- моделирует зону поражения, формирует тематическую карту и список объектов в зоне ЧС.

В результате работы системы формируется набор документов: текст оповещения населения, формы ЧС, оперативная карта зоны затопления с перечнем затопленных объектов, рекомендации по эвакуации населения, привлечению сил и средств и другая необходимая информация. Все расчеты занимают 2 – 5 минут, а объем формируемой информации равнозначен результатам работы оперативного штаба, состоящего из нескольких специалистов по направлениям.

Следует отметить, что от степени наполнения баз данных зависит полнота заполнения форм донесений. Например, практически всю информацию по силам и средствам, необходимую для заполнения формы 3/ЧС «Состав привлекаемых сил и средств для ликвидации ЧС», можно заранее формализовать в виде иерархических таблиц ведомственной подчиненности, а планы привлечения формирований для ликвидации ЧС – в виде наиболее вероятных сценариев развития ситуации баз знаний системы.

Заключение

Экспертная геоинформационная система "Паводки" является новым комплексным подходом автоматизации процессов принятия решений в паводкоопасных ситуациях. Как показал опыт эксплуатации, выбранная технология построения системы [5, с. 46 – 54] позволяет оперативно увеличить функциональность и информационное наполнение системы. Использование системы позволяет не только сократить время формирование решений и документов, повысить эффективность работы оперативных подразделений МЧС России, но и способствует повышению общего уровня квалификации специалистов, прозрачности информационных потоков, большей стандартизации всей системы управления.

Литература

1. Mike3 – software Products / Danish Hydraulics. – 1999. – № 19.
2. Russ Johnson. A Case Study in Multiagency GIS for Managing a Large-Scale Natural Disaster. Global Risk Forum, Davos, Switzerland, 2008.
3. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности. Красноярский край. – М.: Знание, 2001. – 500 с.
4. Библиотека бесплатных программ Национального Агентства по чрезвычайным ситуациям США (FEMA) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=2300>.
5. Средства построения систем поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации ЧС. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций / Л. Ф. Ноженкова, С. В. Исаев, В. В. Ничепорчук [и др.]. – М., 2008. – № 4.
6. Ничепорчук, В. В. Методические и программные средства поддержки принятия решений в паводкоопасных ситуациях: автореф. дис. ...канд. техн. наук / В. В. Ничепорчук. – Красноярск, 2002. – 20 с.
7. Обеспечение мероприятий и действий сил по ликвидации чрезвычайных ситуаций / под общей ред. С. К. Шойгу. – М., 1998. – 170 с.
8. Постановление Правительства Красноярского края от 20.06.2007 г. № 241-п "О сети наблюдения и лабораторного контроля Красноярского края.
9. Предпаводковое и послепаводковое обследование водохозяйственных систем и зон затопления в Шарыповском, Назаровском и Боготольском районах водотоков рек Обьют, Березовка, Серж, Акатка, Улуй, Айдат и других, Красноярский край. Отчет о НИР. – Красноярск: СНИИГиМ. – 2011. – 161 с.
10. Приказ МЧС России от 4.03.2011 г. № 94 «Об утверждении положения о функциональной подсистеме мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».
11. Центр исследования экстремальных ситуаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.esrc.ru/index.php?page=gis>.

Информация об авторах:

Ноженкова Людмила Федоровна – доктор технических наук, профессор, заместитель директора Института вычислительного моделирования СО РАН, т. 8(391)290-79-53, expert@icm.krasn.ru.

Nozhenkova Lyudmila Fedorovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director at the Institute of Computational Modelling of the Siberian Branch of the RAS.

Ничепорчук Валерий Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИВМ СО РАН, т. 8(391) 290-74-53, valera@icm.krasn.ru.

Nicheporuk Valeriy Vasilievich – Candidate of Technical Sciences, senior researcher at the Institute of Computational Modelling of the Siberian Branch of the RAS.