

На правах рукописи

КУНАКОВ Юрий Николаевич

**СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ
В ВИДЕ ЦИФРОВЫХ КАРТ И КОСМИЧЕСКИХ
СНИМКОВ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ
ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

**Специальность 05.13.01 –
Системный анализ, управление и обработка информации
(в промышленности)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа–2009

Работа выполнена на кафедре геоинформационных систем ГОУ ВПО
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

- Научный руководитель** д-р техн. наук, проф.
ПАВЛОВ Сергей Владимирович
- Официальные оппоненты** д-р техн. наук, проф.
БАГМАНОВ Валерий Хусаинович
проф. каф. телекоммуникационных систем
Уфимского государственного авиационного
технического университета
- д-р. техн. наук, доц.
ЯМАЛОВ Ильдар Уралович
зам. начальника Управления по
чрезвычайным ситуациям при
Правительстве Республики Башкортостан
- Ведущая организация** НИИ Безопасности жизнедеятельности
Республики Башкортостан, г.Уфа

Защита диссертации состоится « 29 » декабря 2009 г. в 10 часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан « » ноября 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

В.В. Миронов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Повышение частоты повторяемости паводков является по своему географическому масштабу стабильной и глобальной тенденцией требующей увеличения роли противопаводковых мероприятий, направленных на предупреждение и смягчение последствий паводковой ситуации на промышленность, население, объекты инфраструктуры. Информационной основой для планирования противопаводковых мероприятий является оценка и оперативное прогнозирование зон затоплений (ЗЗ) местности (территорий, оказывающихся под водой, в результате изменения гидрологического состояния водных объектах).

Одним из необходимых условий построения ЗЗ местности для дальнейшего планирования противопаводковых мероприятий является полная и достоверная информация о состоянии водных объектах, уровнях воды на гидрологических постах наблюдения (ГПН), рельефе местности, населённых пунктах, хозяйственных и промышленных объектах, расположенных в прибрежных зонах и находящихся под угрозой затопления. Для обработки значительного объема информации о пространственно-распределенных объектах в период динамически изменяющейся паводковой ситуации и последующего оперативного принятия противопаводковых мер необходимо автоматизировать процесс расчета параметров зон затоплений. Однако ограниченное число ГПН и недостаточное качество информации о водных объектах и рельефе местности снижает достоверность оценок текущей и прогнозируемой паводковой ситуации на всей территории в целом. Ввиду этого более полезными оказываются космические системы наблюдения, способные предоставлять оптические и радиолокационные космические снимки (КС) с фактическими изображениями зон затопления в оперативном режиме с высоким пространственным разрешением. Указанное обстоятельство повышает оперативность и адекватность предпринимаемых мер по снижению вредного воздействия паводковой ситуации на промышленность.

Исследованию и решению задач связанных с оценкой, прогнозированием паводковой ситуации и формированием информационной поддержки соответствующих управленческих решений посвящены работы многих отечественных ученых и зарубежных специалистов: В. Х. Багманова, С. Е. Беднарука, В. И. Васильева, Б. И. Гарцмана, В. Е. Гвоздева, Л. А. Гриневича, В. И. Данилова-Данильяна, В. А. Коннелли, В. Г. Крымского, Л. К. Левит-Гуревича, В. Г. Пряжинской, А. Х. Султанова, Р. З. Хамитова, М. А. Шахраманьяна, И. У. Ямалова, Д. М. Ярошевского, С. Линда, С. Хаггетта, Д. Эгенхофера и др.

Тем не менее, в используемых методах построения зон затоплений на цифровых топографических картах местности, проблемы совместной обработки разнотипной пространственной информации, такой как цифровые карты местности, космические снимки, данные с ГПН, решены не полностью. Одними из наиболее актуальных проблем является значительная погрешность совмещения информации о ЗЗ, выделенных на КС, с цифровыми картами местности и проблема построения на их основе прогнозных ЗЗ. В конечном итоге эти проблемы не позволяют с необходимой достоверностью оценить ущерб промышленности от затопления. В связи с этим задачи совместного использования пространственной информации в

виде цифровых карт местности и космических снимков являются актуальными как в теоретическом, так и в практическом плане.

Цели и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка методов совместной обработки цифровых карт местности, оптических и радиолокационных космических снимков для построения зон затопления территории и дальнейшего их использования для планирования противопаводковых мероприятий и снижения вредного воздействия паводковой ситуации на промышленность.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать метод построения локальных зон затопления на цифровых картах местности на основе оптических и радиолокационных космических снимков и анализа характерных точек рельефа местности.

2. Разработать метод объединения построенных на основе космических снимков локальных зон затопления участков местности в единую зону фактического затопления интересующей территории.

3. Разработать метод построения прогнозных зон затопления на цифровых картах местности на основе зон затоплений, полученных с архивных космических снимков и прогнозных данных об уровнях воды на постах гидрологического наблюдения.

4. Разработать функциональную и информационную модели совместного использования пространственных данных, таких как цифровые карты, оптические и радиолокационные космические снимки, для построения зон затоплений местности, определения их характеристик и дальнейшего снижения вредного влияния паводка на промышленные объекты.

5. Разработать алгоритмы заказа, обработки и организации хранения космических снимков и программное обеспечение совместной обработки цифровых карт и космических снимков для последующего планирования противопаводковых мероприятий и снижения вредного влияния на промышленность.

Методика исследования

В работе использовались методы структурного анализа и проектирования информационных систем (SADT), математическая теория множеств, методы математического и геоинформационного моделирования, организации баз геоданных, методы обработки данных дистанционного зондирования земли (пространственной привязки, дешифрирования и анализа космических снимков) и принципы объектно-ориентированного программирования.

Научная новизна

Научная новизна работы содержится в следующих результатах:

1. Разработан метод построения локальных зон затопления на цифровых картах местности основанный на определении опорных точек привязки космических снимков к цифровым картам местности с помощью анализа морфологии русел рек (определения на крутых берегах точек максимальной устойчивости к изменениям во времени), позволяющий точнее совмещать информацию о зонах затопления, выделенных на космических снимках, с цифровой картой местности сохраняя геометрические характеристики зон затоплений в виде площадей и границ затопляемых территорий.

2. Разработан метод объединения построенных на основе космических снимков локальных зон затопления участков местности в единую зону фактического затопления интересующей территории, основанный на сглаживании граничных участков объединяемых локальных зон затопления по принципу максимального затопления (наихудшего варианта) с учетом характера рельефа местности, позволяющий обеспечить целостность данных и повысить скорость определения промышленных объектов, попавших в зону затопления местности.

3. Разработан метод построения прогнозных зон затопления на цифровых картах местности основанный на выборе и объединении зон затоплений, полученных с архивных космических снимков на территории «ответственности» гидрологических постов наблюдения и соответствующих прогнозным данным об уровнях воды на гидрологических постах наблюдения, позволяющий определить характеристики предполагаемых зон затопления для выявления промышленных объектов, попадающих в эти зоны.

Практическая значимость

Результаты исследований в виде методов построения зон затоплений территории с использованием цифровых карт, оптических и радиолокационных космических снимков и алгоритмов заказа, обработки и организации хранения космических снимков, извлечения из базы геоданных и анализа зон затопления использовались для информационной поддержки планирования противопаводковых мероприятий для отдела водных ресурсов по Республике Башкортостан Камского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов Российской Федерации и Министерства природопользования и экологии Республики Башкортостан (свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2008613775, от 07.08.2008 года и № 2008614653, от 26.09.2008 года.), а также в учебном процессе УГАТУ.

Связь темы исследования с научными программами

Работа выполнена в период 2006-2009 г.г. на кафедре геоинформационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета в рамках государственного контракта № И-06-12 «Разработка и внедрение геоинформационной системы «Водные ресурсы Республики Башкортостан»» и разработка подсистем «Прогнозирование и оценка зон затопления на территории РБ во время весеннего половодья по космическим снимкам и цифровым картам», а также в Министерстве природопользования и экологии Республики Башкортостан в рамках государственного контракта № 031-2008 «Применение данных дистанционного зондирования Земли для оценки паводковой ситуации и развития автоматизированной системы поддержки принятия решений по управлению природными ресурсами и охраной окружающей среды».

На защиту выносятся

1. Метод построения локальных зон затопления на цифровых картах местности, основанный на совместной обработке оптических и радиолокационных космических снимков и характерных точек рельефа местности.

2. Метод объединения построенных на основе космических снимков локальных зон затопления участков местности в единую зону фактического затопления интересующей территории.

3. Метод построения прогнозных зон затопления на цифровых картах местности, использующий зоны затопления, полученные с архивных космических снимков и прогнозных данных об уровнях воды на гидрологических постах наблюдения.

4. Информационная и функциональная модели совместного использования пространственных данных в виде цифровых карт, оптических и радиолокационных космических снимков для построения зон затоплений местности и определения их характеристик.

5. Алгоритмы заказа, обработки и организации хранения космических снимков и программное обеспечение совместной обработки цифровых карт и космических снимков для построения зон затоплений местности и определения их характеристик для последующего планирования противопаводковых мероприятий и снижения вредного влияния на промышленность.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях и семинарах: Третьей международной конференции «Земля из космоса – наиболее эффективные решения» (Инженерно-технологический Центр «СканЭкс», Москва, 2007); Второй международной конференции «Космическая съемка – на пике высоких технологий» (ЗАО «Совзонд», Москва, 2008); Шестой всероссийской открытой ежегодной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (ИКИ РАН, Москва, 2008); «Компьютерные науки и информационные технологии» (CSIT'2007 – 2009); XIII Конференции пользователей ESRI и ERDAS в России и странах СНГ (Голицыно, 2007); Всероссийской зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых (Уфа, 2008–2009); Всероссийской молодежной научной конференции (УГАТУ, Уфа, 2007–2008); Восьмой международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (Уфа, 2007); Семинаре «Проблемы совершенствования подготовки IT-специалистов в высшей школе на основе требований рынка» (Уфа, 2007); Конференции молодых ученых «Наука и инновации XXI века» (Сургут, 2008); 3-й Всероссийской конференции «Геоинформационные технологии в муниципальном управлении» (Уфа, 2009); Межрегиональной научно-практической конференции «Вода для жизни – 2009» (Уфа, 2009).

Публикации

Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в 13 источниках, включающих 6 статей, 4 материалов конференций и семинаров, 2 свидетельства о регистрации программ и 1 учебно-методическую работу. Результаты работы опубликованы в 1 рецензируемом журнале ВАК.

Структура и объём работы

Работа включает введение, 4 главы основного материала, заключение, библиографический список и приложения.

Работа без библиографического списка и приложений изложена на 132 страницах машинописного текста. Библиографический список включает 147 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится общая характеристика работы – обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируется цель и задачи исследования, перечисляются методы исследования, отмечается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава диссертации посвящена анализу процесса и методов планирования противопаводковых мероприятий, организационно-технических методов планирования противопаводковых мероприятий, а также методов построения зон затоплений, основанных на использовании космических снимков и геоинформационных технологий (ГИС-технологий).

Основными методами предотвращения и смягчения последствий паводков является использование гидротехнических сооружений для регулирования стока и защиты объектов промышленности, создание оградительных дамб и своевременное оповещение руководства промышленных предприятий о возможности и масштабах паводка. Поскольку масштабы и последствия паводков зависят от многих факторов (продолжительности паводка, времени и скорости таяния снега, рельефа местности, времени года и погоды, характера почвенного слоя, скорости движения и высоты подъема воды, состава водного потока, характера застройки прилегающих населенных пунктов, плотности проживания населения, состояния гидротехнических сооружений), требуется использование специализированного программного обеспечения для своевременной оценки негативного воздействия паводковой ситуации на промышленность.

Анализ существующих методов и методических рекомендаций по выполнению комплекса противопаводковых мероприятий показал ориентацию систем мониторинга паводков в сторону применения и развития ГИС-технологий, использования для наблюдений современных аэрокосмических средств, развитие методов и способов дешифрирования космических снимков. Основным источником пространственной информации при планировании противопаводковых мероприятий являются цифровые карты местности с нанесенными на них специальными объектами, объектами промышленности и другими объектами, которые могут испытывать негативное влияние паводков. Ввиду этого, одной из первостепенных задач при осуществлении информационной поддержки планирования противопаводковых мероприятий является построение на цифровых топографических картах зон фактического затопления местности при разливах рек и оценка ущерба от затопления промышленных объектов.

Как известно, для выделения зон затопления успешно используются космические снимки, особенно часто радиолокационные, на которые облачность, сопровождающая паводок, оказывает минимальное влияние. Следует отметить, что зоны затопления, выделяемые с космических снимков, привязанных по орбитальным данным, зачастую имеют погрешность совмещения с цифровой топографической картой масштаба 1:200000, достигающую 300 м. Это связано, прежде всего, с недостаточной актуальностью большинства цифровых карт местности, а также с особенностями выполнения космической съемки. С применением существующих методов географической привязки КС, использующих наземные опорные точки, допривязать КС к векторной карте местности с высокой точностью совмещения русел рек, которая необходима для построения зон затопления и определении затоп-

ленных промышленных объектов, затруднительно. Проблема возникает, прежде всего, в выборе необходимого количества опорных точек (порядка 100 точек для привязки снимка с размерами кадра 100x100 км). Во-первых, на цифровых картах местности редко встречается такое количество характерных объектов вблизи русла на всей протяженности реки (пересечение авто- и железных дорог, пересечение улиц и др.), устойчивых к изменению. Во-вторых, высокая точность совмещения космического снимка с использованием такого количества опорных точек достигается только в непосредственной близости к опорным точкам и в основном сопровождается искажениями геометрических параметров объектов, представленных на изображении.

Таким образом, для снижения влияния вышеперечисленных факторов в диссертационной работе предлагается методы построения локальных зон затопления местности, основанные на обработке космических снимков и характерных точек рельефа местности, а также метод и алгоритмы совместной обработки пространственной информации в виде цифровых карт и космических снимков для построения прогнозных зон затопления и последующего определения объектов промышленности, попавших под негативное влияние паводковой ситуации.

Вторая глава посвящена анализу информационной поддержки принятия управленческих решений при планировании противопаводковых мероприятий для защиты объектов промышленности, разработке схемы использования методов построения зон затоплений (рис. 1), разработке методов построения зон фактического затопления местности при разливах рек на основе совместной обработки космических снимков и анализа характерных точек рельефа и метода построения прогнозных зон затопления на основе цифровых карт, архивных космических снимков и данных об уровнях воды на постах гидрологического контроля.

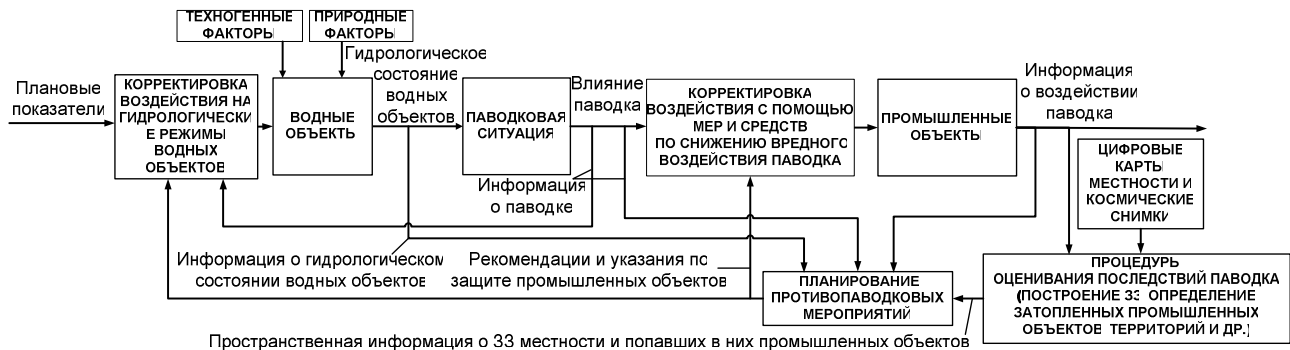


Рисунок 1 – Место использования космических снимков и цифровых карт местности при планировании противопаводковых мероприятий

Метод построения локальных зон затопления заключается в совместной обработке космических снимков и характерных точек рельефа, расположенных на крутых берегах. Путём выбора точек максимальной крутизны на крутых берегах водных объектов создается множество опорных точек, на основе которых выделяются фрагменты космического снимка. Указанные фрагменты привязываются путем совмещения изображений крутых берегов на космическом снимке и на карте с использованием опорных точек. С помощью операций объединения привязанных фрагментов ЗЗ местности и сглаживания перекрывающихся областей удастся получить ЗЗ всей местности.

Например, если при поднятии уровня воды на 1 м площадь затопления территории или расстояние между изолиниями меньше пространственного разрешения космического снимка, то считается что, рассматриваемая точка принадлежит крутому берегу, и площадь затопления крутого берега в этой точке принимается равной нулю. Таким образом, опорные точки выбираются только на крутых берегах, что позволяет снизить погрешность при совмещении с цифровой картой местности зон затоплений, полученных с космических снимков.

Далее приводится формальное описание вышесказанного. Для определения принадлежности точек привязки к определенному участку берега (крутому или пологому), предложены правила (рис. 2).

- 1) Если $\alpha \leq 135^\circ$ и $dl_{h_{s,s+1}} \rightarrow 0$ и $dh_u \leq h_{\min}$, то Z_1 ;
- 2) Если $\alpha > 135^\circ$ и $P_{im} \geq dl_{h_{k,k+1}}$ и $dh_u \leq h_{\min}$, то Z_1 ;
- 3) Если $\alpha > 135^\circ$ и $P_{im} \leq dl_{h_{k,k+1}}$ и $dh_u \leq h_{\min}$, то Z_2 ,

где α – угол между линией уклона берега и водной поверхностью, P_{im} – пространственное разрешение космического снимка, $dl_{h_{k,k+1}}$ – расстояние между точками пересечения ($T_{Pnt_j}^{u.g.k}$ и $T_{Pnt_j}^{u.g.k+1}$) створа $C_{L_i}^{непр}$ и изолиниями высот $C_{L_k}^{u.g.}$ и $C_{L_{k+1}}^{u.g.}$ ближайшими к берегу, dh_u – разница между уровнями воды U_s и U_{s+1} (пара соседних различных уровней воды), h_{\min} – минимальный уровень поднятия воды в реке, который необходимо идентифицировать, Z_1 – точка $T_{Pnt_i}^{\beta^1}$ принадлежит крутому берегу, Z_2 – точка $T_{Pnt_i}^{\beta^1}$ принадлежит пологому берегу.

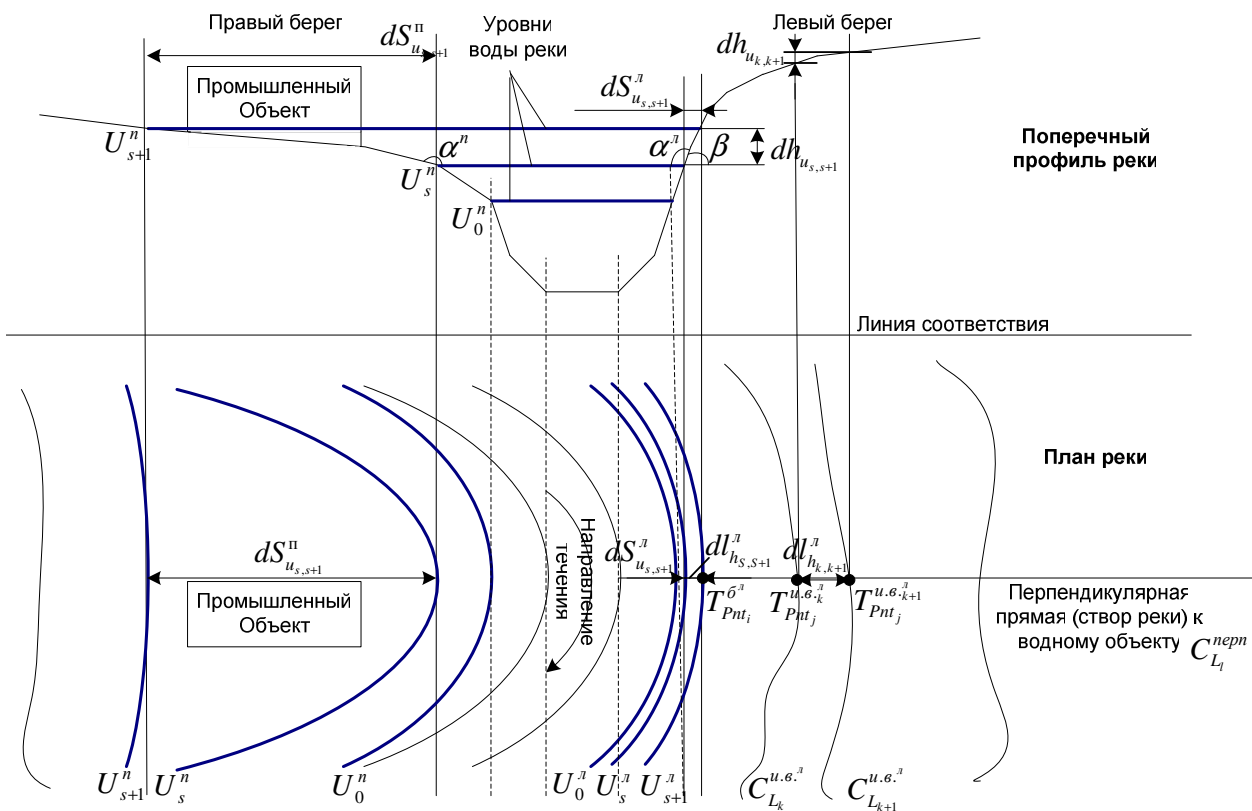


Рисунок 2 – Схема плана и поперечного профиля русла реки

Минимально необходимое пространственное разрешение КС для определения подъема воды в данной точке на определенный уровень находится с помощью соотношения:

$$P_{in} > \frac{h}{tg\beta} = \frac{dl_{h_k, k+1} h}{dh_{h_k, k+1}}, \quad (2)$$

где β – угол между линией уклона берега реки и воображаемой горизонтальной прямой в склоне берега, проведенной на уровне меньшей изолинии (определяется по цифровой карте), h – уровень подъема воды, который необходимо идентифицировать с космического снимка, $dh_{h_k, k+1}$ – разница высот между двумя соседними изолиниями k и $k+1$.

В результате применения правил к множествам точек обоих берегов $C_{Pnt}^{\sigma^n}$ и $C_{Pnt}^{\sigma^n}$ получаем их подмножества $C_{Pnt}^{\sigma_k^n}$, $C_{Pnt}^{\sigma_k^n}$, $C_{Pnt}^{\sigma_n^n}$, $C_{Pnt}^{\sigma_n^n}$ – множество точек, принадлежащих крутым участкам левого и правого берегов и пологим участкам левого и правого берегов.

Для задачи построения зон затоплений при привязке фрагментов космического снимка используется одна опорная точка на каждом крутом берегу, что в конечном итоге приводит к увеличению точности привязки. Для этого из $C_{Pnt}^{\sigma_k^n}$ и $C_{Pnt}^{\sigma_n^n}$ выбираются точки с максимальной крутизной в подмножества $C_{Pnt}^{\sigma_k, \max}$ и $C_{Pnt}^{\sigma_n, \max}$. Таким образом, множество опорных точек привязки на векторной карте состоит из совокупности точек максимальной крутизны левого и правого берега:

$$C_{Pnt}^{np} = C_{Pnt}^{\sigma_k, \max} \cup C_{Pnt}^{\sigma_n, \max}. \quad (3)$$

Между точками максимальной и минимальной крутизны находятся точки, не относящиеся к ним. Среди них определяются точки перегиба $C_{Pnt}^{\sigma_{aver}^n}$ и $C_{Pnt}^{\sigma_{aver}^n}$, в которых линия берега изменяет свой тип (крутой берег переходит в пологий и наоборот). Таким образом, удастся определить точки, которые должны попасть в области выделенных фрагментов космического снимка:

$$A = \{A_k\} = \left\{ T_{Pnt_j}^{\sigma_{aver}^n}, T_{Pnt_j}^{\sigma_{aver}^n}, T_{Pnt_{j+1}}^{\sigma_{aver}^n}, T_{Pnt_{j+1}}^{\sigma_{aver}^n}, T_{Pnt_k}^{\sigma_k, \max}, T_{Pnt_k}^{\sigma_n, \min} \right\} \quad k = \overline{1, n_{\sigma_k}}, j = \overline{1, n_{aver}}, i = \overline{1, n_{\sigma_{aver}^n}}. \quad (4)$$

Причем точки $T_{Pnt_k}^{\sigma_k, \max}$ и $T_{Pnt_k}^{\sigma_n, \min}$ находятся между точками $T_{Pnt_j}^{\sigma_{aver}^n}, T_{Pnt_j}^{\sigma_{aver}^n}$ и $T_{Pnt_{j+1}}^{\sigma_{aver}^n}, T_{Pnt_{j+1}}^{\sigma_{aver}^n}$ относительно линии берега реки.

Области выделения фрагментов космического снимка, имеющие по одному крутому участку берега, описываются двумя парами координат (левый нижний угол и правый верхний угол) области охватывающей A :

$$AOI_{Pol} = \{AOI_{Pol_i}\} = \{(x_{\min, i}; y_{\min, i}), (x_{\max, i}; y_{\max, i})\}, i = \overline{1, n_{\sigma_k}}, \quad (5)$$

Множество фрагментов, которые выделяются с космического снимка, определяется пересечением множества точек космического снимка и областей выделения фрагментов:

$$D^{fr} = \{D_i^{fr}\} = D \cap \{AOI_{Pol_i}\}, i = \overline{1, n_{\sigma_k}}, \quad (6)$$

где D – множество пикселей, составляющих космический снимок и имеющих пары координат, в которых хранятся значения яркости каждого спектрального канала.

Совмещение выделенных фрагментов космического снимка с векторной топографической картой осуществляется с помощью полиномиальной трансформации первого порядка с использованием только одной опорной точки для каждого фрагмента

$$x^{\wedge} = a_1 + x; \quad y^{\wedge} = a_2 + y, \quad (7)$$

где (x, y) – координаты опорной точки на космическом снимке, (x', y') – координаты соответствующей точки на цифровой карте местности, a_1 и a_2 – определяемые параметры трансформации.

Часто возникают ситуации, когда интересующая территория при планировании противопаводковых мероприятий больше площади, покрываемой одним космическим снимком, поэтому необходимо объединять особым образом ЗЗ выделенные с нескольких космических снимков, а также привязанные локальные зоны, выделенные с одного снимка.

При обработке перекрывающихся областей, объединяемых привязанных фрагментов космического снимка, в качестве результата выбираются пиксели фрагментов изображения, с наименьшей спектральной яркостью (кроме синего спектра), которая практически всегда соответствует водной поверхности на космическом снимке

$$D_{i,i+1}^{fr.pr.cross} = \min_a (D_i^{fr.pr}(a) \cap D_{i+1}^{fr.pr}(a)). \quad (8)$$

Объединение привязанных фрагментов можно описать следующим образом:

$$D^{pr} = (D_{i,i+1}^{fr.pr.cross} \cup D_i^{fr.pr} \cup D_{i+1}^{fr.pr}) / (D_i^{fr.pr} \cap D_{i+1}^{fr.pr}), \quad (9)$$

где $D_i^{fr.pr}$ – привязанные фрагменты снимка, D^{pr} – мозаика привязанных фрагментов.

Конвертирование выделенных зон затопления со снимков в векторный формат представления данных осуществляется с использованием дешифрирования изображения и сглаживания граничных областей между соседними зонами затоплений по принципу наихудшего варианта (рис. 3).

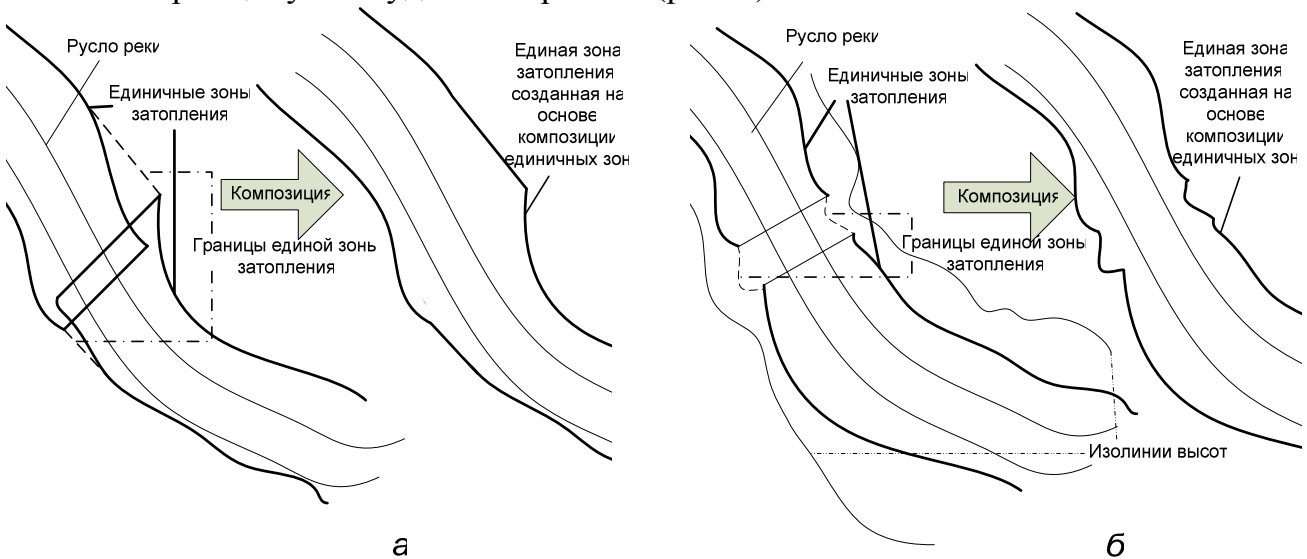


Рисунок 3 – Схема композиции локальных зон затопления в единую зону и сглаживании границ: *а* – при наложении единичных ЗЗ; *б* – при разрыве между единичными ЗЗ

Полученные таким образом зоны затопления разбиваются на участки, каждый из которых соответствует одному или нескольким ГПН (рис. 4) и хранятся в виде векторных слоев в базе геоданных. Хранимые участки используются либо для создания цифровых карт, либо для построения прогнозных зон затоплений на основе разработанного метода. Указанный метод состоит в сопоставлении прогнозных уровней воды на ГПН со значениями архивных уровней воды, которые

соответствуют архивным космическим снимкам и полученным на их основе зонам затопления. При этом могут возникать ситуации, когда архивные космические снимки покрывают большую территорию с несколькими ГПН либо пересекаются друг с другом, при этом, имея одинаковый подъем уровня воды в реке на какой-либо территории. Поэтому в диссертации предложено деление зон затопления с использованием специально созданных полигональных слоев – так называемых зон «ответственности» постов наблюдения – участков территории вблизи ГПН, для которых уровень воды на реках меняется наиболее синхронно с уровнем воды в районе ГПН.

Для выделения участка территории из ЗЗ, выделенной с архивного КС, используемого для построения прогнозной зоны затопления предложено правило:

$$\text{Если } \exists T_{Pnt}^{z_f} | T_{Pnt}^{z_f} \equiv T_{Pnt}^{z_o} \text{ при } T_{Pnt}^{z_o} \in C_{Pol_i}^{z_o}, \text{ то } T_{Pnt}^{z_p} \equiv T_{Pnt}^{z_f} | T_{Pnt}^{z_p} \in C_{Pol_i}^{z_p}, \quad (10)$$

где $T_{Pnt}^{z_f}$ – точка, принадлежащая зоне фактического затопления, $T_{Pnt}^{z_o}$ – точка, принадлежащая зоне ответственности гидрологических постов наблюдения, $T_{Pnt}^{z_p}$ – точка, принадлежащая прогнозной зоне затопления, $C_{Pol_i}^{z_o}$ – зона ответственности i -го гидрологического поста наблюдения, $C_{Pol_i}^{z_p}$ – i -ая прогнозная зона затопления.

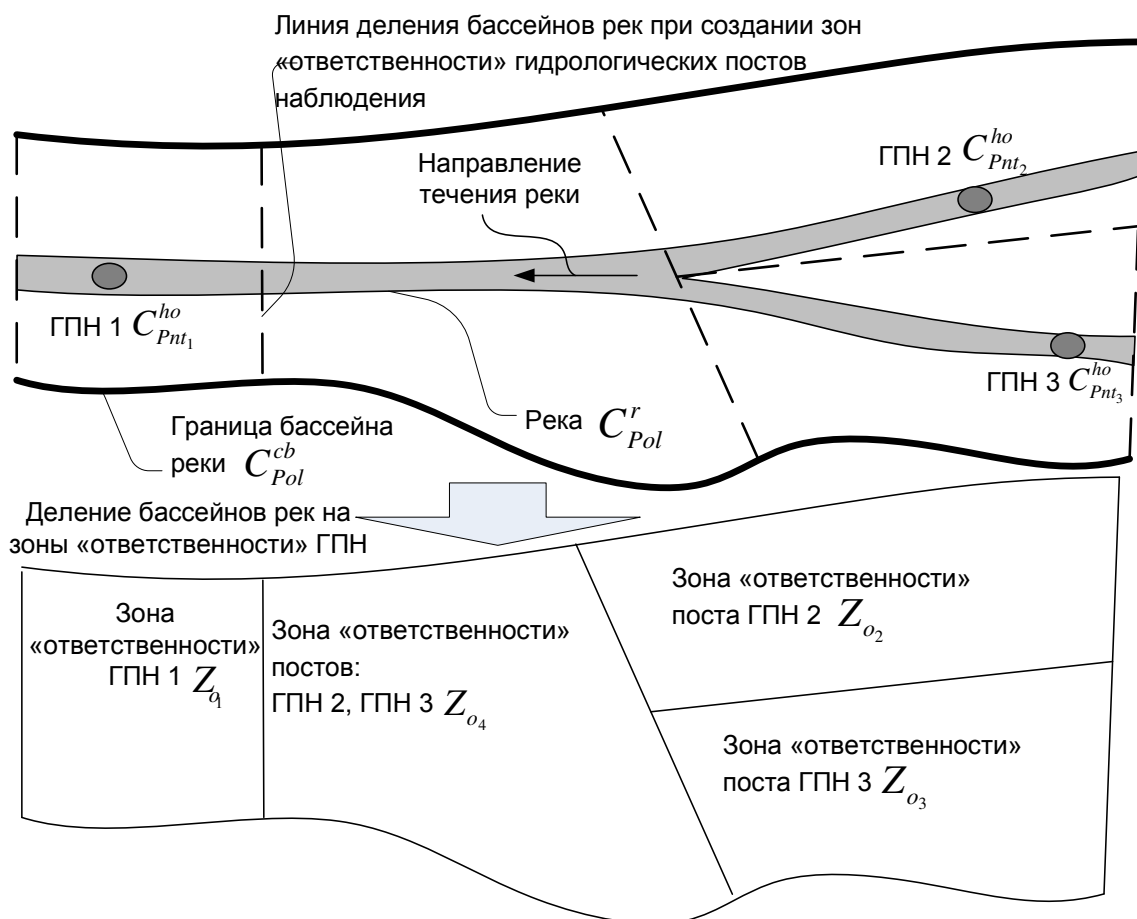


Рисунок 4 – Схема процесса создания зон «ответственности» гидрологических постов наблюдения

Выбор зон затопления осуществляется по минимуму расхождения прогнозных и фактических значений уровней воды (соответствующих снимкам) на постах гидрологического наблюдения

$$\min|U_p - U_a| \rightarrow 0, \quad (11)$$

где U_p – прогнозные уровни воды на постах гидрологического наблюдения, U_a – архивные уровни воды на постах гидрологического наблюдения.

В результате может быть определена зона затопления, в наибольшей степени соответствующая прогнозируемым уровням воды на ГПН. Выбранные зоны затопления синтезируются в результирующую прогнозную зону затопления с помощью объединения зон затопления и сглаживания границ

$$Z_p^r = \text{union}(Z_p) = \bigcup_{i=1}^n (\text{smooth}(Z_{p_i}, Z_{p_{i+1}})), \quad (12)$$

где Z_p – прогнозные зоны затопления, Z_p^r – результирующая прогнозная зона затопления, union – функция объединения прогнозных зон затопления, smooth – функция сглаживания границ соседних зон затопления по принципу усреднения, n – количество выбранных прогнозных зон затопления.

Предложенное формальное описание разработанных методов построения локальных и прогнозных зон затопления на цифровых картах местности позволяет использовать их в автоматизации процесса построения и прогнозирования зон затоплений и планировании противопаводковых мероприятий для определения на цифровой карте местности объектов промышленности попадающих в зоны вредного влияния паводковой ситуации.

В третьей главе описана разработка функциональной и информационной модели совместного использования пространственных данных в виде цифровых карт, оптических и радиолокационных космических снимков для построения зон затоплений местности, определения их характеристик и дальнейшего снижения вредного влияния паводка на промышленность, алгоритмов, обеспечивающих заказ, обработку и организацию хранения космических снимков, извлечения из базы геоданных и анализа зон затопления для снижения вредного влияния паводка на промышленность. Укрупненная структура пространственных данных, используемых в задачах планирования противопаводковых мероприятий, показана на рис. 5.

На основе проведенного в первой главе анализа основных этапов обработки пространственных данных в виде цифровых карт и космических снимков и последовательности их выполнения при планировании противопаводковых мероприятий, определены основные функции по обработке космических снимков и цифровых карт местности и разработаны алгоритмы их реализующие. На рис.6 представлена обобщенная блок-схема алгоритма процесса построения прогнозных зон затопления местности.

Разработанные функциональные и информационные модели совместного использования пространственных данных, алгоритмы заказа, получения, обработки и организации хранения космических снимков, извлечения из базы геоданных и анализа зон затопления используются в дальнейшем для разработки программного обеспечения автоматизирующего методы построения зон затопления.

В четвертой главе приводится описание практической реализации разработанных методов и алгоритмов, обеспечивающих получение, обработку и хранение космических снимков и получение зон затоплений с использованием ГИС-технологий и методов обработки КС, структура взаимодействия разработанного

программного обеспечения и баз данных ГИС, космических снимков и блоков обработки и получения космических снимков (рис. 7).



Рисунок 5 – Укрупненная структура пространственных данных, используемых для расчета характеристик ЗЗ местности

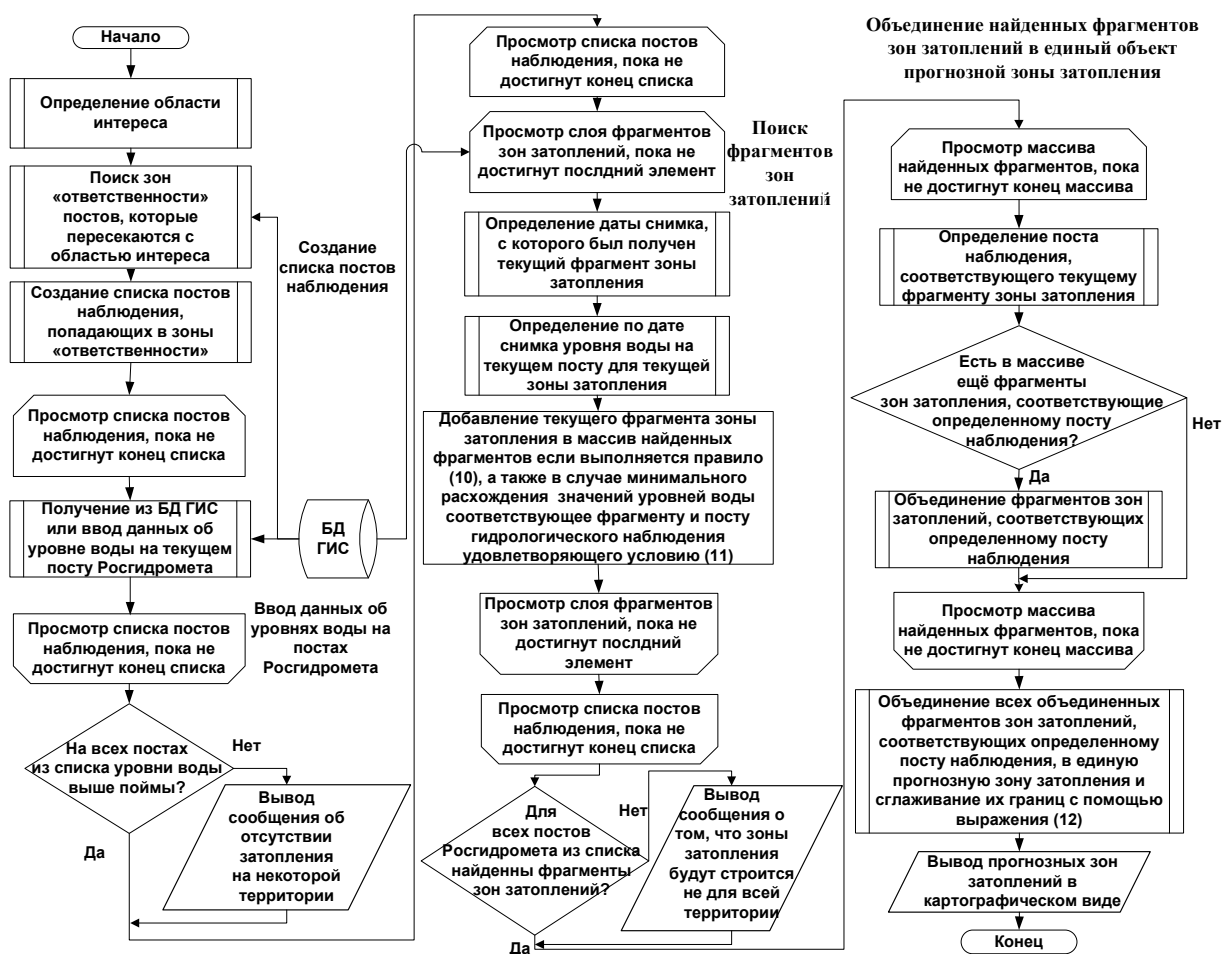


Рисунок 6– Блок-схема алгоритма построения прогнозных зон затопления на основе векторных карт и космических снимков

Эффективность применения программного обеспечения информационной поддержки планирования противопаводковых мероприятий определяется сле-

дующими факторами: точностью построения фактических и прогнозных зон затопления, снижением временных затрат, необходимых для решения задач (например, построение фактических зон затопления), связанных с планированием противопаводковых мероприятий.

Использование разработанного метода построения зон фактического затопления местности с помощью космических снимков позволяет повысить точность построения и совмещения зон фактического затопления с цифровой топографической картой местности на 35–45%, по сравнению с результатами использования классических методов пространственной привязки и обработки космических снимков. В таблице 1 приведены результаты сравнения различий привязки границ водной поверхности, выделенными с космического снимка при уровне воды в реке, не превышающем уровень поймы, к руслу реки на цифровой карте местности. В этом случае границы обоих водных объектов должны максимально совпадать. Поэтому в сравнении участвуют площади несовпадения границ водных объектов, выделенных с привязанных космических снимков разными методами, с границами русел рек на цифровой карте местности.

Таблица 1

Результаты сравнения построения зон затопления с использованием различных методов

Номер космического снимка	Различия при использовании разработанного метода, (м ²)	Различия при использовании классического метода, (м ²)	Различия между 33 полученными двумя методами, (м ²)	Увеличение точности при использовании разработанного метода, %
1	1990000	3310000	3410000	39,9
2	2100000	3250000	3230000	35,4
3	1953000	3285000	3387000	40,6
4	1975000	3343700	3395000	40,9
5	1647000	2989100	3421000	44,9
6	1973000	3312500	3438700	40,4
7	1987000	3196100	3389000	37,8
8	1947000	3345700	3423000	41,8
9	1972370	3318900	3415700	40,6
10	1958000	3285100	3390000	40,4
Среднее значение	1950237	3263610	3389940	40,27

Анализ эффективности использования разработанных методов информационной поддержки планирования противопаводковых мероприятий показал, что с помощью разработанного метода удалось повысить точность построения зон затоплений на 35–45%.

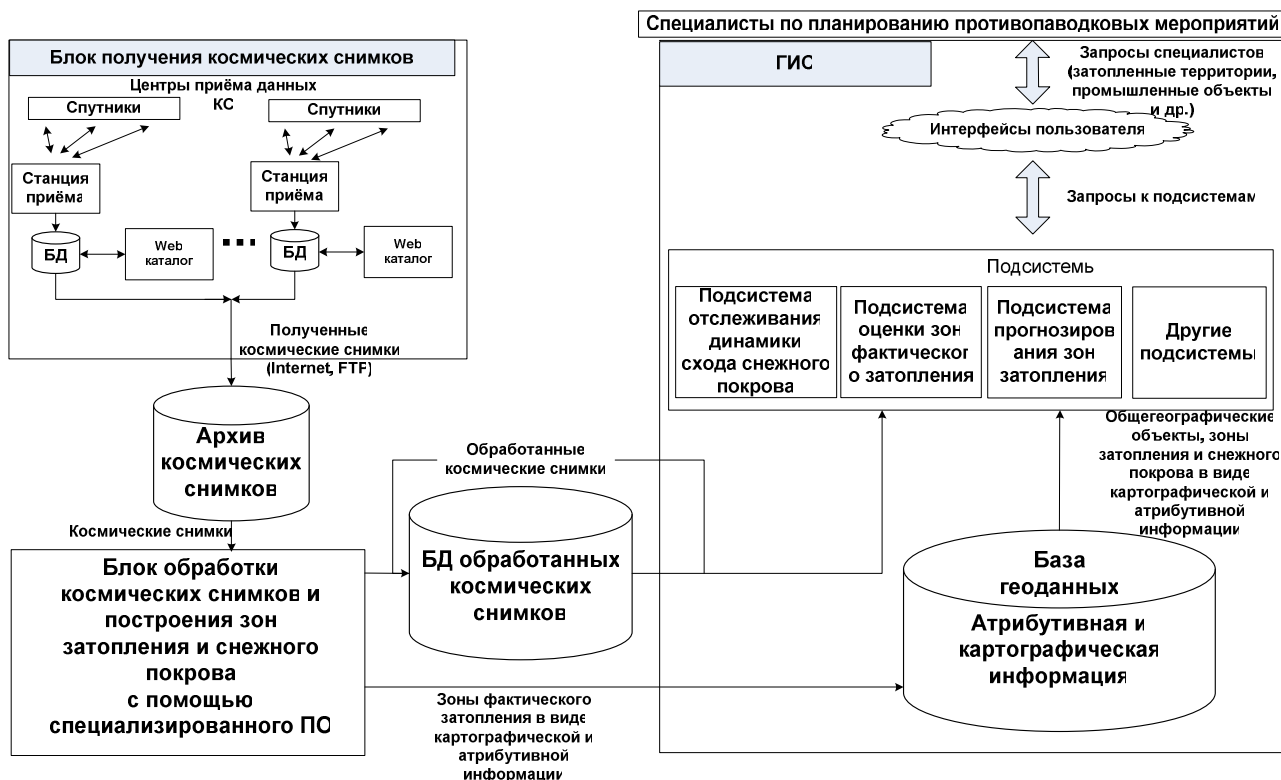


Рисунок 7 – Логическая структура совместной обработки пространственной информации в виде цифровых карт и космических снимков

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработан метод построения локальных зон затопления на цифровых картах местности основанный на определении опорных точек привязки оптических и радиолокационных космических снимков к цифровым картам местности с помощью анализа морфологии русел рек (определения на крутых берегах точек максимальной устойчивости к изменениям во времени), позволяющий точнее совмещать информацию о зонах затопления, выделенных на космических снимках, с цифровой картой местности сохраняя геометрические характеристики зон затоплений в виде площадей и границ затапливаемых территорий.

2. Разработан метод объединения построенных на цифровых картах местности с использованием космических снимков локальных зон затопления участков местности в единую зону фактического затопления интересующей территории, основанный на сглаживании граничных участков объединяемых локальных зон затопления по принципу максимального затопления (наихудшего варианта) с учетом характера рельефа местности, позволяющий обеспечить целостность данных о зонах затопления определенной местности для дальнейшего определения на цифровых картах местности промышленных объектов, попавших в зоны затопления.

3. Разработан метод построения прогнозных зон затопления на цифровых картах местности основанный на выборе и объединении зон затоплений, полученных с архивных космических снимков, соответствующих зонам «ответственности» гидрологических постов наблюдения и прогнозными данными об уровнях воды на этих постах, позволяющий отобразить прогнозные зоны затопления на цифровой карте местности, для дальнейшего определения характеристик предполагаемых

затопленных территорий и выявления промышленных объектов, администрации которых должны быть предупреждены о возможном затоплении.

4. Разработаны информационная и функциональная модели совместного использования пространственных данных в виде цифровых карт, оптических и радиолокационных космических снимков для построения зон затоплений местности и определения их характеристик.

5. Разработаны алгоритмы заказа, обработки и организации хранения космических снимков и программное обеспечение совместной обработки цифровых карт и космических снимков, основанные на разработанных методах и моделях, для информационной поддержки планирования противопаводковых мероприятий и дальнейшего снижения вредного влияния паводка на промышленность. Программное обеспечение внедрено в деятельность отдела водных ресурсов по Республике Башкортостан Камского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов Российской Федерации и его использование способно повысить эффективность оценки зон затопления за счет увеличения точности их построения на цифровых картах местности на 35-45%.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Построение зон фактического затопления местности при разливах рек на основе обработки радиолокационных космических снимков и анализа характерных точек рельефа / С. В. Павлов, Ю. Н. Кунаков // Вестник УГАТУ : научн. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2009. Т. 13, № 2 (35). С. 3 – 10.

В других изданиях

2. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга паводковой ситуации в Республике Башкортостан / С. В. Павлов, Ю. Н. Кунаков // Земля из космоса – наиболее эффективные решения : матер. 3-й междунар. конф. М. : ИТЦ «СканЭкс», 2007. С. 95 – 97. (Статья на англ. яз.)

3. Мониторинг паводковой ситуации с использованием данных дистанционного зондирования / С. В. Павлов, Ю. Н. Кунаков // Табигат : науч.-практ. эколог. журнал. 2007. №11 (70). С. 25 – 27.

4. Система поддержки принятия решений для оценки зон фактического затопления во время весеннего половодья по космическим снимкам с использованием геоинформационных систем / С. В. Павлов, В. С. Горячев, Ю. Н. Кунаков [и др.] // Компьютерные науки и информационные технологии (CSIT'2008) : матер. 10-го Междунар. науч. сем. Анталия, Турция, 2008. Т. 1. С. 134-140. (Статья на англ. яз.)

5. Информационное обеспечение совместного использования данных дистанционного зондирования и моделирования для оценивания зон затоплений / А. Х. Абдуллин, Ю. Н. Кунаков // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ, 2008. С. 98 – 107.

6. Поддержка принятия решений при прогнозировании зон затоплений на территории Республики Башкортостан во время половодья на основе ГИС-

технологий и данных дистанционного зондирования / С. В. Павлов, Ю. Н. Кунаков [и др.] // Наука и инновации XXI века : матер. IX окружн. конф. молодых ученых. Сургут : ИЦ СурГУ, 2008. Т. 1. С. 32– 33.

7. Использование данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий при создании автоматизированной системы мониторинга паводковой ситуации в республике Башкортостан / С. В. Павлов, Ю. Н. Кунаков, А. Ф. Атнабаев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : матер. 6-й всерос. откр. ежегодн. конф. [электронный ресурс] М. : ИКИ РАН, 2008. 3 с.

8. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2008613775. Идентификация границ водных объектов по данным дистанционного зондирования на основе ГИС-технологий / С. В. Павлов, Ю. Н. Кунаков, Р. А. Шкундина [и др.]. М. : Роспатент, 2008.

9. Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2008614653. Определение предполагаемых зон затопления во время весеннего половодья на основе архивных данных дистанционного зондирования и уровней воды на гидрологических постах с использованием ГИС-технологий / С. В. Павлов, Ю. Н. Кунаков, Н. А. Волков [и др.]. М. : Роспатент, 2008.

10. Обеспечение муниципальной безопасности с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса и ГИС-технологий / Ю. Н. Кунаков // Геоинформационные технологии в муниципальном управлении: матер. 3-ей всерос. конф. [электронный ресурс] Уфа, 2009.

11. Построение прогнозных зон затопления местности на основе космических снимков и цифровых карт / Ю. Н. Кунаков // Компьютерные науки и информационные технологии (CSIT'2009) : матер. 10-го Междунар. науч. сем. Крит, Греция, 2009. Т. 3. С. 193 – 197. (Статья на англ. яз.)

12. Информационная система мониторинга паводковой ситуации с использованием ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли из космоса / Ю.Н. Кунаков // Актуальные проблемы в науке и технике. Информатика, управление и компьютерные науки : сб. тр. 4-й всерос. зимн. шк.-сем. аспирантов и молодых ученых. Уфа : УГАТУ, 2009. Т. 1. С.316 – 320.

Диссертант

Ю.Н. Кунаков

КУНАКОВ Юрий Николаевич

СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ
В ВИДЕ ЦИФРОВЫХ КАРТ И КОСМИЧЕСКИХ
СНИМКОВ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ
ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Специальность 05.13.01 –
Системный анализ, управление и обработка информации
(в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 26.11.2009 Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. 1,0. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ № 587

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12