

На правах рукописи

Ботавин Дмитрий Викторович

**ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СОДЕРЖАНИЯ
БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ
РУСЕЛ И ПОЙМ РАВНИННЫХ РЕК**

25.00.35 – геоинформатика

**Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата географических наук**

Москва - 2009

Работа выполнена на кафедре картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Научный руководитель:

доктор географических наук,
профессор

Б.Б. Серапинас

Официальные оппоненты:

доктор географических наук, доцент
(Московский Педагогический
Государственный университет)

А.В. Чернов

кандидат географических наук,
старший научный сотрудник
(Институт географии РАН)

А.В. Кошкарёв

Ведущая организация:

ЗАО «Проектно-изыскательский институт Ленгипроречтранс»
(г. Санкт-Петербург)

Защита состоится **29 октября 2009 года** в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета по геоморфологии и эволюционной географии, гляциологии и криологии Земли, картографии, геоинформатике (Д-501.001.61) в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, географический факультет, 21 этаж, ауд. 2109

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке географического факультета МГУ на 21 этаже.

Автореферат разослан **28 сентября 2009 года**.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим отправлять по адресу: 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, географический факультет, учёному секретарю диссертационного совета Д-501.001.61, факс (495) 932-88-36. E-mail: science@geogr.msu.ru

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук



А.Л. Шныпарков

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования связана с необходимостью обеспечения исследований русел и пойм рек геоинформационными системами и картографическими работами высокой точности, географически достоверными и отвечающими требованиям действующей нормативной документации. Необходимость постоянного слежения за русловыми процессами означает, что накапливаемые материалы (измерения, съёмки, карты и планы разных масштабов) должны концентрироваться и храниться в виде, удобном для их быстрой обработки и проведения качественных исследований.

Изучение рельефа русел и пойм рек, а также опасных гидрологических явлений на них, целесообразно проводить на разных масштабных уровнях, используя современные возможности геоинформационного картографирования и специализированные базы данных (БД). С этой целью особенно важно использовать геоинформационные технологии, что требует теоретического обоснования и разработки структуры и содержания баз данных, а также создания методики их использования на конкретных примерах.

Равнинные реки отличаются спокойным течением, руслоформирующие факторы у них более предсказуемы в сравнении с полугорными и горными реками. В то же время равнинные реки занимают большую часть территории нашей страны, что определяет повышенный спрос на их освоение и использование. В соответствии с этим, на наш взгляд, именно равнинные реки требуют особого внимания и всестороннего изучения со стороны различных специалистов.

Задача диссертационной работы состоит в теоретическом обосновании и разработке структуры и содержания баз данных для изучения и картографирования русел и пойм равнинных рек на разных масштабных уровнях.

Для достижения поставленной задачи потребовалось решить **следующие теоретические и практические вопросы:**

- предложить несколько масштабных уровней исследований для изучения и картографирования русел и пойм равнинных рек на основе изучения и обобщения опыта исследований рек в историческое и настоящее время, а также всесторонней оценки их достоинств и недостатков;
- разработать требования к точности исходных данных для каждого из выделенных масштабных уровней исследования на основе действующих нормативных документов и других публикаций; представить разработанные требования в виде обобщающей таблицы;
- разработать структуру и содержание баз данных для изучения русел и пойм равнинных рек в соответствии с выделенными масштабными уровнями исследований;
- разработать модель базы данных и подготовить её образец; разработать методику картографирования русел и пойм равнинных рек в

географических и прикладных исследованиях на примере создания русловых карт, карт динамики затопления поймы, навигационных карт и др.;

- апробировать предложенную методику на примере составления вышеуказанных карт в масштабах 1:5 000 – 1:50 000 для участков русел рек Волги, Лены и Большой Хеты.

Методы исследования и фактический материал. В основу исследований положены научно-методологические принципы и идеи тематического картографирования К.А. Салищева, А.М. Берлянта, Т.Г. Сватковой; достижения в области геоинформатики и геоинформационного картографирования, отражённые в работах С.Н. Сербенюка, В.С. Тикунова, И.К. Лурье, Б.А. Новаковского, А.В. Кошкарева; основные принципы и понятия теории русловых процессов (русловедения) Н.И. Маккавеева, Р.С. Чалова, А.В. Чернова, Н.Е. Кондратьева и др.; законы, термины и определения из области гидрологии суши, отражённые в трудах Н.И. Алексеевского, В.Н. Михайлова и др.

Работа выполнена на кафедре картографии и геоинформатики на основе карт, космических снимков, личных экспедиционных исследований автора с 2003 по 2009 гг. и полевых данных, собранных в результате творческого сотрудничества с Научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, материалов НПО «Русская прикладная геослужба», а также обобщения многочисленных научных публикаций по исследуемой теме.

Автор принимал участие в экспедициях в Республике Саха (Якутия), Тюменской, Омской, Ярославской и Тверской областях, Ханты-Мансийском и Таймырском автономных округах; на реках Волга, Иртыш, Лена, Алдан, Енисей, Большая Хета.

На защиту выносятся следующие положения:

- Изучение и картографирование русел и пойм равнинных рек целесообразно проводить на трёх масштабных уровнях: для отображения микроформ руслового рельефа в масштабах 1:500 – 1:5 000, для мезоформ – в масштабах 1:10 000 – 1:100 000, для макроформ – в масштабах мельче 1:100 000. Исследование каждой группы форм рельефа в зависимости от величины реки обеспечивается выделением масштабного диапазона.

- Для каждого выделенного уровня разработаны конкретные требования к точности исходных данных в соответствии с действующими нормативными документами и другими источниками. Разработанные требования представлены в виде обобщающей таблицы.

- Изучение и картографирование русел и пойм равнинных рек, а также происходящих на них опасных гидрологических явлений, предложено проводить на основе специализированных баз данных. Дано обоснование и разработаны содержание и структура баз данных, включающих: векторные и растровые пространственные данные, картографический материал, аэрокосмические снимки, литературные описания и др.

- На основе теоретического обоснования указанных баз данных разработана модель базы данных и подготовлен её образец, учитывающий выделенные масштабные уровни исследований. Созданная база данных обеспечивает изучение русел и пойм равнинных рек на основе геоинформационных средств, и проведение ГИС-картографирования русел и пойм равнинных рек в географических и прикладных целях. На примерах участков рек Лены, Волги и Большой Хеты разработана и апробирована методика составления русловых карт, карт динамики затопления поймы реки, навигационных карт и др. в масштабах 1:5 000 – 1:50 000.

Научная новизна работы:

- впервые теоретически обоснованы и разработаны содержание и структура баз данных для изучения русел и пойм равнинных рек и опасных гидрологических явлений на них, выполненное на трёх масштабных уровнях исследований; предложена модель базы данных;

- разработаны конкретные требования к точности исходных данных для исследований русел и пойм равнинных рек на трёх масштабных уровнях (микроуровень 1:500 – 1:5 000, мезоуровень 1:10 000 – 1:100 000, макроуровень – мельче 1:100 000), составляющих информационную основу баз данных;

- создан образец базы данных, содержащей исходные данные и производную информацию для участков следующих рек: среднего течения Лены, Верхней Волги, Большой Хеты;

- разработана методика использования базы данных в географических и прикладных исследованиях на примере создания русловых карт в масштабе 1:25 000 и 1:10 000 (участок р. Лены в районе устья р. Алдан), карт динамики затопления поймы в масштабе 1:50 000 (участок р. Лены вблизи г. Ленск); навигационных карт (лоций) масштаба 1:25 000 (участок Верхней Волги) и др.;

- подготовленные навигационные карты в масштабе 1:25 000 на участок Верхней Волги от г. Дубна до д. Коприно изданы в «Атласе единой глубоководной системы Европейской части России» (2005 г.).

Практическая значимость работы и внедрение. Результаты исследований автора в виде разработанных блоков базы данных и карт внедрены и используются на практике в Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева (Москва), в ФГУ «Ленское государственное бассейновое управление водных путей и судоходства» (Якутск), в ФГУП «Канал имени Москвы» (Москва), в ОАО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (Москва).

Навигационные карты в масштабе 1:25 000 (Листы 25-35), полученные в ходе работы, вошли в состав «Атласа единой глубоководной системы Европейской части РФ» (2005), том №2, который является основным документом для судовождения в указанной речной системе. С момента его выпуска предыдущее издание 1987 г. официально считается непригодным для навигационных целей.

Материалы диссертации вошли в разработки по методике геоинформационного картографирования, поддержанные грантами РФФИ (05-05-65104) и Программами Поддержки Ведущих Научных школ РФ (гранты НШ-8306.2006.5 и НШ-171.2008.5).

Выполненная работа позволяет более целостно, качественно и эффективно производить изучение русел и пойм равнинных рек, а также опасных гидрологических явлений, происходящих на них. Полученные результаты являются важным шагом к обобщению работ по геоинформационному обеспечению исследований рек, вносят вклад в географические и прикладные исследования и будут полезны геоморфологам, гидрологам, картографам, а также другим специалистам, изучающим реки, русловые процессы, деформации русел и пойм.

Апробация. Результаты исследований докладывались на Международных конференциях студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов» (Москва, 2003, 2005, 2006, 2008); на Второй научной конференции молодых учёных и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» (Москва, 2008); на научном семинаре Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева (Москва, 2009); международной научной конференции ИнтерКарто/ИнтерГИС-15: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт (Пермь, Гент, 2009).

Основные результаты диссертации опубликованы в 9 научных работах, из них 1 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Разработанные карты вошли в состав Атласа единой глубоководной системы европейской части России (2005).

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения (133 страницы машинописного текста), 6 таблиц, 23 рисунков, списка литературы (154 наименования) и приложения (7 карт).

Благодарности. Автор глубоко благодарен своему научному руководителю профессору, д.г.н. Б.Б. Серапинасу; профессору, д.г.н. А.М. Берлянту; профессору, д.г.н. И.К. Лурье; доценту, к.г.н. Т.Г. Сватковой; доценту, к.г.н. С.В. Чистову и всем сотрудникам кафедры картографии и геоинформатики – за ценные замечания, высказанные при обсуждении результатов работы; профессору кафедры геоморфологии и палеогеографии, д.г.н. Ю.Г. Симонову – за консультации и методическую помощь; заведующему лабораторией и сотрудникам НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева: профессору, д.г.н. Р.С. Чалову; с.н.с., к.г.н. А.А. Зайцеву; м.н.с., к.г.н. А.К. Ильясову; с.н.с. О.М. Кирику – за предоставленные материалы и совместную работу в экспедициях.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Методы исследований русел и пойм рек

В первой главе подробно разобраны этапы развития исследований рек в России: от исторического опыта изучения рек к изложению современных методов исследования русел и пойм рек со второй половины XX в. по настоящее время. Освещаются перспективы инструментальных методов исследования русел и пойм рек. Далее рассматривается деятельность ведущих отечественных организаций и их вклад в изучение рек. Особо подчёркивается роль Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева и подробно излагается суть научной школы географического русловедения МГУ им. М.В. Ломоносова. Также в главе представлена справочная информация по топографической изученности России, даётся информация по цифровым топографическим картам. Отдельное внимание уделено развитию и становлению методов исследования русловых процессов, деформаций речных русел и пойм.

Анализ развития русловых исследований в нашей стране в историческое время показал, что планомерное усиление внимания к изучению рек и постепенное становление методов происходило с XVIII в., достигнув своих наибольших успехов в XX в. Главными недостатками исследований рек до XIX в. являются отсутствие геодезической основы и планомерной съёмки поймы, а также крайняя скудность гидрологических данных. Более поздние материалы были более совершенны, но не имели описания рельефа берегов и поймы, содержали недостаточные сведения о расходах воды и скоростях течения. В XIX в. исследования рек выполняются уже на точной геодезической основе. Во второй половине XX века в исследованиях русел и пойм рек начинают использоваться более совершенные геодезические инструменты, данные аэрокосмической съёмки, измерения глубин с помощью эхолотов.

После распада СССР в 1990-е годы исследования рек пришли в упадок, геодезическая сеть, в особенности в районах Сибири и Дальнего Востока, практически полностью была разрушена, перестала совершенствоваться отечественная приборная база. Однако за последние десять лет произошёл новый скачок развития методов и технологий в исследованиях рек, связанный с повсеместным внедрением в науку и производство глобальных навигационных спутниковых систем (GPS и ГЛОНАСС), методов геоинформационного картографирования, стимулируемых постоянным ростом производительности ЭВМ. Значительный успех при съёмке русла был связан с внедрением в русловые исследования программно-аппаратных промерных комплексов, позволяющих оперативно получать большие объёмы цифровой батиметрической информации.

В настоящее время при исследовании речных русел и пойм широко используются данные дистанционного зондирования Земли, спутниковое позиционирование и компьютерное моделирование. В последние годы также активно проводятся работы по геоинформационному обеспечению исследований русел рек. Предложена новая методика плано-высотного обоснования съёмочных

сетей на крупных реках (Ильясов, 2005). Эти работы направлены на устранение пробелов, имеющих в нормативных документах, и выработку базовых принципов системного исследования русел рек, опирающихся на новейшие научно-технические знания.

Перспективным при изучении русел и пойм рек, на взгляд автора, является возможность внедрения в практику исследований современных систем лазерного сканирования территории, которые можно использовать для построения цифровых моделей рельефа поймы (Аникушкин, 2005; Слепченко, 2007), и тем самым существенно увеличить производительность работы.

Большую роль в развитии русловых исследований в нашей стране сыграли: Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева (МГУ им. М.В. Ломоносова), Государственный гидрологический институт, Институт водных проблем РАН, а также другие организации и ведомства.

Во второй половине XX в. в НИЛ эрозии почв и русловых процессов сложилось новое научное направление – картографирование русловых процессов. По масштабам картографирования, содержанию, объёму информации, и способам изображения, картографирование русловых процессов делилось на крупно- (1:5 000 – 1:100 000), средне- (1:200 000 – 1:1 000 000) и мелкомасштабное (1:1 500 000 и мельче) (Чалов, Чернов, 2005). Работы лаборатории с крупномасштабными материалами по рекам СССР позволили сделать научные выводы и разработать классификации по морфологии и динамике рек. В частности, сотрудниками лаборатории была разработана методика крупномасштабного геоморфологического картографирования (Беркович и др., 1975). Рельеф на таких картах показывался для пойм способом качественного фона, для русел – изолиниями с послышной окраской (Русловая ..., 1989). Примерами последней группы могут служить такие уникальные картографические произведения как: «Русловые процессы на реках СССР», 1:4 000 000 (1989); «Русловые процессы на реках Алтайского края», 1:1 000 000 (1991); «Морфология и динамика русел рек Европейской части России и сопредельных государств», 1:2 000 000 (1999). В этих картах содержатся как общие характеристики рек, так и условия формирования русел, типы русел, их морфологический облик и связанный с ними характер русловых деформаций. Принципы составления этих карт, относящихся к серии карт для высшей школы, основанной по инициативе К.А. Салищева, подробно изложены в публикациях (Беркович и др., 1981, 1982, 1986; Чалов, Чернов, 2000, 2005). Большой вклад в разработку принципов составления этих карт со стороны картографов географического факультета МГУ вложила доцент Т.Г. Сваткова.

Несмотря на современные методы и наличие перспектив, к сожалению, до сих пор имеются существенные проблемы, связанные с хранением и использованием разнородной информации. Источники разобщены территориально, ведомственно и тематически.

Тематические геоинформационные системы и базы данных водных объектов пока малочисленны, выполняют зачастую справочно-познавательную функцию. Практически отсутствуют специализированные ГИС, предназначенные для изучения рек. Отсутствуют нормативно закреплённые требования к точности исходных данных и их взаимной интеграции в тематических ГИС и БД.

В качестве исключения можно привести работу С.В. Пьянкова (2006) из Пермского госуниверситета по созданию региональной гидрологической ГИС, выполненной на примере Воткинского водохранилища. В работе детально представлена структура и подсистемы ГИС, отражающие особенности объекта исследования и наблюдений за ним. В системе используются методы математико-картографического моделирования гидрологических процессов и явлений. Картографическая база данных ГИС включает топографические карты масштабов 1:200 000 и 1:1 000 000, тематические карты – масштабов: 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 и мельче. Таким образом, указанная ГИС позволяет анализировать, изучать и получать новую гидрологическую информацию об изучаемом объекте на обзорно-географическом уровне.

Анализ вышеизложенного привёл автора к следующим выводам:

- Из трёх классов рек по классификации Р.С. Чалова (1979, 1980) наиболее востребованы исследования равнинных рек, поэтому в качестве объекта исследования в настоящей работе выбраны именно равнинные реки нашей страны.
- Изучение русел и пойм равнинных рек, а также происходящих на них опасных гидрологических явлений, целесообразно проводить на разных масштабных уровнях, зависящих от форм руслового рельефа.
- Для выполнения качественных, достоверных и точных исследований необходима разработка требований к точности исходных данных для каждого масштабного уровня исследований с целью их дальнейшей интеграции в специализированную базу данных.

При разработке масштабных уровней исследования автор исходил из идеи выделения трёх уровней, соответственно, для изучения каждой из трёх групп форм руслового рельефа: *микро-*, *мезо-* и *макро-*. При этом автор опирался на представления Н.Е. Кондратьева, Р.С. Чалова, А.В. Чернова, в которых к микроформам руслового рельефа относятся мелкие грядовые формы рельефа, размеры которых несоизмеримо малы по отношению к самому руслу и развитие которых определяется гидродинамическими особенностями потока; мезоформы представлены перекатами и другими грядовыми образованиями, соизмеримыми с шириной русла, а их развитие определяется как гидравлическими характеристиками потока, так и формой самого русла (макроформами); макроформы не только определяют общий облик русла и режим его деформаций, являясь производными режима потока в целом, но и сами активно влияют на его структуру (Чалов, 1980).

При выборе масштабных границ и диапазона каждого уровня исследования автор руководствовался желанием обеспечить изучение каждой группы форм

руслового рельефа с учётом разной величины рек: *малых, средних и больших* (Добровольский и др., 2005).

Вышесказанное позволило автору предложить для проведения русловых исследований следующие масштабные уровни, приняв за основу каждого уровня генетически однородные микро-, мезо- и макроформы руслового рельефа, и назвав их по такому же принципу: **микро-, мезо- и макроуровни исследований**:

- Для **микроуровня** выбран масштабный ряд 1:500 – 1:5 000. В нём выполняется подробное изучение небольших участков рек, составляются русловые планы, планы деформаций русел, планы оценки воздействия деформаций русел на магистральные трубопроводы и гидротехнические сооружения и др.

- Для **мезоуровня** выбран масштабный ряд 1:10 000 – 1:100 000, на котором изучаются значительные по протяжённости участки рек. Это русловые карты, карты русловых деформаций, фактологические карты русловых процессов, карты динамики затопления поймы рек, навигационные карты (лоции), топографические карты внутренних водоёмов (рек) и др.

- Для **макроуровня** исследований предложен масштаб 1:100 000 и мельче; это обзорно-аналитический уровень изучения русел и пойм рек, связанный с созданием региональных атласов, типологических карт русловых процессов на крупные регионы и страны, и др.

Глава 2. Разработка требований к исходным данным

Для каждого из предлагаемых автором уровней исследований разработаны конкретные требования к точности исходных данных. В основу требований положена современная нормативная документация: государственные стандарты, ведомственные строительные нормы, своды правил, руководства и инструкции, многочисленные научные публикации.

Каждый масштабный уровень исследований основан на базовых источниках информации: полевых пространственных данных (топографо-геодезических, промерных), картографических материалах, данных дистанционного зондирования Земли, информации БД и ГИС, тематических данных и прочей информации. Числовые значения точности и рекомендации обобщены и представлены для каждого источника информации по трём выделенным уровням (см. табл. 1).

Кроме этого в главе изложены принципы оценки качества и достоверности исходных данных, которые необходимо тщательно соблюдать в процессе сбора данных и получения новой информации, исходя из планируемого масштаба картографирования и уровня исследований. Все сведения и параметры, отражающие качество исходных данных, должны быть описаны в специальных файлах метаданных.

**Требования к точности исходных данных
для исследований русел и пойм равнинных рек**

Источник информации	Система параметров и требований к точности, рекомендуемые приборы и способы съёмки		
	Микроуровень 1:500 – 1:5 000	Мезоуровень 1:10 000 – 1:100 000	Макроуровень мельче 1:100 000
1	2	3	4
Топографо-геодезические данные	Предельно допустимые СКП* (в мм в масштабе карты): Плановое обоснование: 0,2-0,3. Положение предметов и контуров местности с чёткими очертаниями: 0,7.		
	Значения СКП (на местности), указанные в качестве примера для представителя каждого масштабного уровня: 1) плановое обоснование; 2) положение предметов и контуров с чёткими контурами		
	1:2 000 1) 0,4-0,6 м 2) 1,4 м	1:25 000 1) 5,0-7,5 м 2) 17,5 м	Проведение полевых съёмок на этом уровне нецелесообразно
	Предельно допустимые СКП высотного обоснования (на местности):		
	0,12 м	0,25 м	–
	Приборы и способы съёмки		
	Тахеометры, относительные способы спутникового позиционирования, лазерное сканирование	Тахеометры, относительные и абсолютные способы спутникового позиционирования	–
Промерные данные	Предельно допустимая СКП при определении планового положения промерных точек составляет не более 2,0 мм в масштабе карты для микроуровня, и 10 м – для мезоуровня.		
	1: 500 – 1 м 1:2 000 – 4 м	10 м	Проведение промеров на этом уровне нецелесообразно
	Приборы и способы съёмки		
	Относительные способы спутникового позиционирования	Абсолютные и относительные способы спутникового позиционирования	
	Расстояние между промерными профилями (галсами), в м:		
	не более 50 на перекате; не более 150 на плёсе	не более 100 на перекате; не более 200 на плёсе	–

1	2	3	4
Промерные данные	Схема промерных профилей (галсов):		
	поперечные, косые пересекающиеся	допустимы все схемы	–
	Предельно допустимые СКП определения глубины промерных точек (на местности):		
	не хуже 0,1 м	0,1 м	-
Картографические материалы	Общегеографическая основа: топографические карты и планы; Тематическая основа: специализированные топокарты, лоции, карты русловых процессов, геоморфологические, гидрологические и др.		
Данные ДЗЗ	Пространственное разрешение (м):		
	< 1 (высокое)	1 – 30 (среднее)	> 30 (низкое)
	По временной характеристике данные ДЗЗ выбирают исходя из планируемых исследований динамики изменений речных русел и пойм.		
Информация БД и ГИС	Региональные и тематические БД и ГИС, содержащие разностороннюю информацию о водных объектах исследования. Использование этих ГИС регламентируется базовыми пространственными данными и метаданными, и зависит от развития инфраструктуры пространственных данных.		
Тематические данные	Гидрологические; метеорологические; климатические; геологические; гидрогеологические; геоморфологические; данные по речному бассейну и отдельным притокам; почвенные; геоботанические; гидрохимические; гидробиологические и пр.		
Прочая информация	Статистические данные, литературные описания, фотографический материал, графики, а также другая информация о структуре, взаимодействии и динамике природных явлений, происходящих в русле и пойме реки.		

* СКП – среднеквадратическая погрешность измерения

Наличие системы параметров и требований к исходным данным позволяет подойти к теоретическому обоснованию и разработке содержания и структуры баз данных для изучения русел и пойм равнинных рек на концептуальном и других уровнях проектирования.

Глава 3. Разработка баз данных для изучения русел и пойм равнинных рек

К созданию баз данных и ГИС предъявляются высокие требования, связанные с пространственной формой организации и представления данных.

В процессе проектирования баз данных принято выделять три уровня:

концептуальный, логический и физический. На концептуальном уровне определено содержание базы данных, зависящее от задач, которые она должна решать; указаны объект и предметы исследования, базовые пространственные объекты, непозиционные объекты (описательная информация); перечислены используемые модели пространственных данных, формы представления непозиционных данных; определены способы использования БД; указаны потенциальные пользователи и используемая математическая основа; подчеркнута необходимость использования метаданных.

На логическом уровне разработана структура базы данных, в основе которой лежит содержание, определённое на концептуальном уровне проектирования, разработанный автором трёхуровневый подход к масштабным уровням исследования и требования к точности исходных данных.

На физическом уровне описана реализация базы данных на программно-аппаратном уровне. База данных включает в себя *систему управления базой данных (СУБД)*, подсистемы: *ввода и обновления исходных данных; хранения; обработки и моделирования; визуализации*.

1) Концептуальный уровень проектирования (см. рис. 1). Содержание базы данных определяется объектом и предметами исследований, а также задачами для решения которых она создается (назначение БД).

- изучение русел равнинных рек; деформации русел и поймы; пространственные закономерности распределения речных наносов;
- оценка воздействия русловых деформаций на магистральные трубопроводы и гидротехнические сооружения;
- констатация, оценка и прогноз наводнений во время паводков и половодья при заторных и зажорных явлениях;
- речное навигационное картографирование;
- прочие исследования связанные с использованием русловой информации.

Объект исследования БД – малые, средние и большие равнинные реки на территории Российской Федерации.

Предметы исследования БД – рельеф русла и поймы реки, представленный различными формами руслового рельефа: микро-, мезо- и макро-; деформации русла и поймы; русловые процессы; опасные гидрологические явления.

Все объекты базы данных представлены двумя классами:

I. Базовые пространственные объекты:

1) *Полевые данные*: топографо-геодезические, промерные.

2) *Картографический материал*: топографические карты, лоцманские карты, тематические карты природы: гидрологические, геоморфологические, русловые карты, карты русловых процессов, карты русловых деформаций и др.

3) *Данные дистанционного зондирования*: аэрокосмические снимки, наземная стереофотосъёмка;

4) *Информация БД и ГИС*

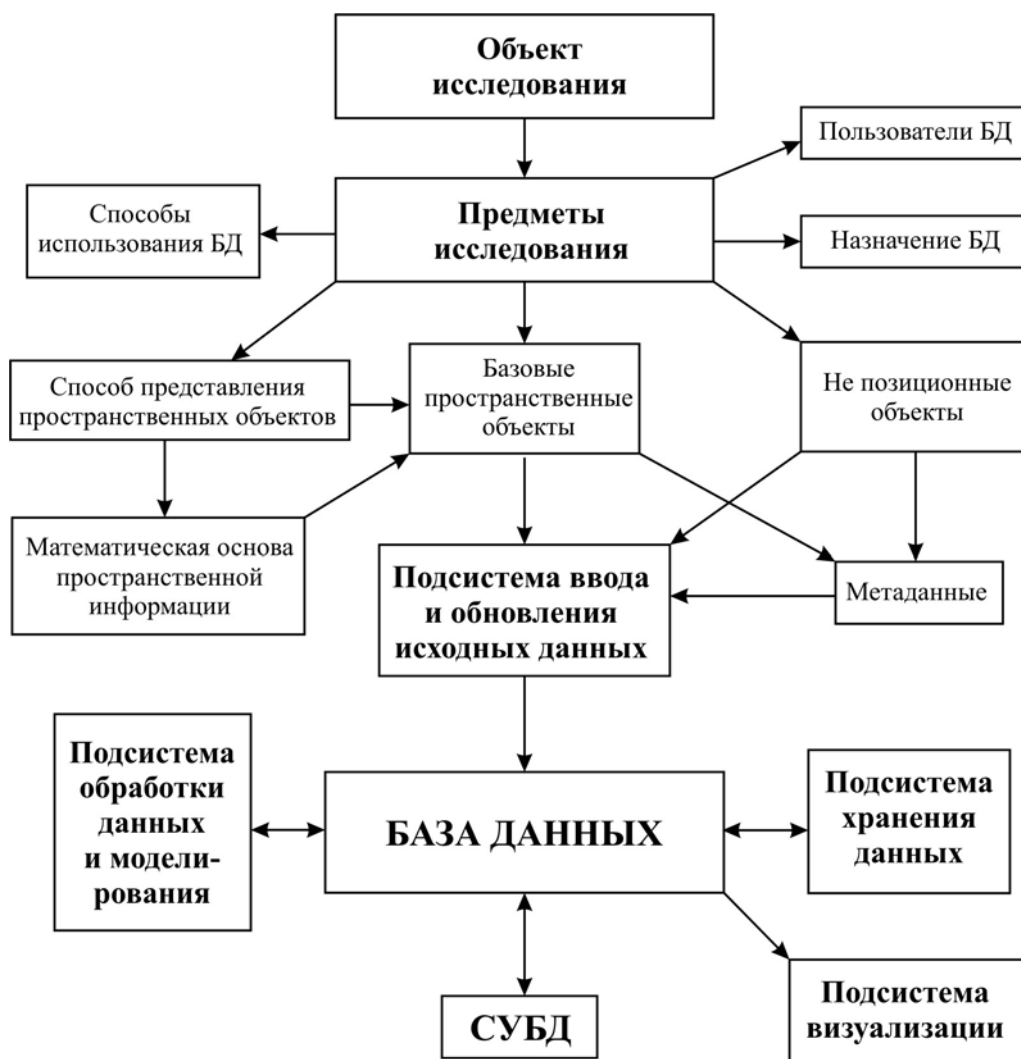


Рис. 1 Концептуальный уровень проектирования базы данных

II. Непозиционные объекты (описательная информация):

1) *Тематические данные*: рекогносцировочные, гидрологические и гидрографические данные; метеорологические и климатические; геологические, геоморфологические и гидрогеологические; сведения о бассейне, долине и пойме реки; данные о притоках; почвенные и геоботанические; гидрохимические и гидробиологические и т.п.

Например, гидрологические данные могут включать в себя сведения о расходах воды, модуле стока, густоте речной сети, уклонах водной поверхности, мутности, водном режиме, термическом и ледовом режиме, гидрохимии и т.д.; метеорологические данные – сведения об осадках, температуре воздуха, скорости и направлении ветра и т.д.

2) *Литературные описания*: текст описаний взаимодействия, структуры и динамики различных явлений, происходящих в русле и на пойме равнинных рек.

3) *Фотографический материал*: фотографии состояния местности, обследования гидротехнических сооружений, подводных переходов магистральных трубопроводов и др.

4) *Прочая информация*: таблицы, графики, статистические данные.

Используемые модели пространственных данных. Модель пространственных данных определяет структуру и организацию данных, а также способ её анализа; отражает логические правила формализованного цифрового описания объектов реальности как пространственных объектов (Cone ..., 1991; Кошкарев, Тикунов, 1993; Jones, 1997; Burrough, McDonnel, 1998; Zeiler, 1999; Лурье, 2008).

Базовыми моделями пространственных данных в проектируемой БД выступают *растровый* и *векторный* нетопологические форматы.

Векторные пространственные данные. Пространственно-координированная информация состоит из двух частей: координат и атрибутов. Дискретные топографо-геодезические и промерные данные локализуются в базе данных в виде точек. Векторные сведения о рельефе поймы и русла, представленные в горизонталях локализуются в виде линий. Информация о точности данных хранится в метаданных.

Растровые пространственные данные. Данные дистанционного зондирования и отсканированные картографические материалы хранятся в базе данных в виде растра – матрицы элементарных графических элементов (пикселей). Также в растровом виде хранятся цифровые модели рельефа в виде GRIDa. Размер пиксела при этом определяет пространственное разрешение изображения. Информация об этом хранится в метаданных.

Представление в БД непозиционных объектов.

Тематические данные хранятся в виде таблиц и описаний. При наличии сведений о координатах, возможно преобразование тематической информации в векторные пространственные данные.

Литературные описания хранятся в виде текста.

Фотографические материалы хранятся в растровом формате.

Прочая информация хранится в виде таблиц и графиков.

Способы использования БД для изучения русел и пойм равнинных рек:

- пространственный анализ и визуализация данных;
- построение блок-диаграмм, трёхмерных моделей рельефа, картографических анимаций;
- создание на основе методов геоинформационного картографирования цифровых, электронных и компьютерных карт и атласов.

Потенциальные пользователи БД: физико-географы, гидрологи, геоморфологи, картографы и геоинформатики, проектировщики, строители, судоводители, управленцы.

Математическая основа пространственной информации. Мировая геодезическая система WGS-84, общеземная геоцентрическая система координат ПЗ-90 (ПЗ-90.02). Карты в проекциях UTM, Гаусса-Крюгера с системой координат WGS-84 и СК-95.

Метаданные. Свойства данных в базе пространственных данных должны быть представлены в метаданных в соответствии с ГОСТ Р 51353-99 (1999). Файлы метаданных создаются одновременно с наполнением БД исходной информацией и включают сведения: о пространственном охвате, проекции, масштабе, географической основе, точности, времени получения или создания данных и др.

2) Логический уровень проектирования БД (см. рис. 2). На этом уровне разработана логическая структура базы данных, в основе которой лежат три блока данных: базовые пространственные, производные пространственные и непозиционные.

Вся информация, в соответствии с содержанием БД, масштабными уровнями исследований, и требованиями к точности исходных данных представлена в виде растровых или векторных изображений и разделена по типам источников. Таким образом, вся информация хранится в виде семи блоков:

Базовые пространственные данные:

1. Векторные полевые данные – микро- и мезоуровни исследований;
2. Растровые данные дистанционного зондирования – все масштабные уровни;
3. Векторный картографический материал – мезо- и макроуровни;
4. Растровый картографический материал – все масштабные уровни;

Производные пространственные данные:

5. Векторные данные – все масштабные уровни;
6. Растровые данные – все масштабные уровни;

Непозиционные данные:

7. Не координированные данные в виде растра, текста, таблиц.

3) Физический уровень проектирования БД.

Система управления базой данных (СУБД). Для хранения, обработки и визуализации пространственных данных целесообразно использовать функции реляционной СУБД, с возможностями управления позиционной и атрибутивной составляющими данных, например MS SQL Server или Oracle (Хомоненко и др., 2003; Лурье, 2008; Геоинформатика, 2008).

Подсистема ввода и обновления исходных данных. Исходная информация поступает в базу данных через систему ввода, отвечает разработанным требованиям к точности, и содержит в метаданных признак принадлежности к одному из трёх масштабных уровней исследования. Это необходимо для выдерживания уровня генерализации соответствующего рабочего масштаба и соблюдения точности при последующем геоинформационном картографировании.

Ввод данных осуществляется путём копирования информации с различных накопителей, из сети Internet, через клавиатуру, мышь, сканер и дигитайзер.

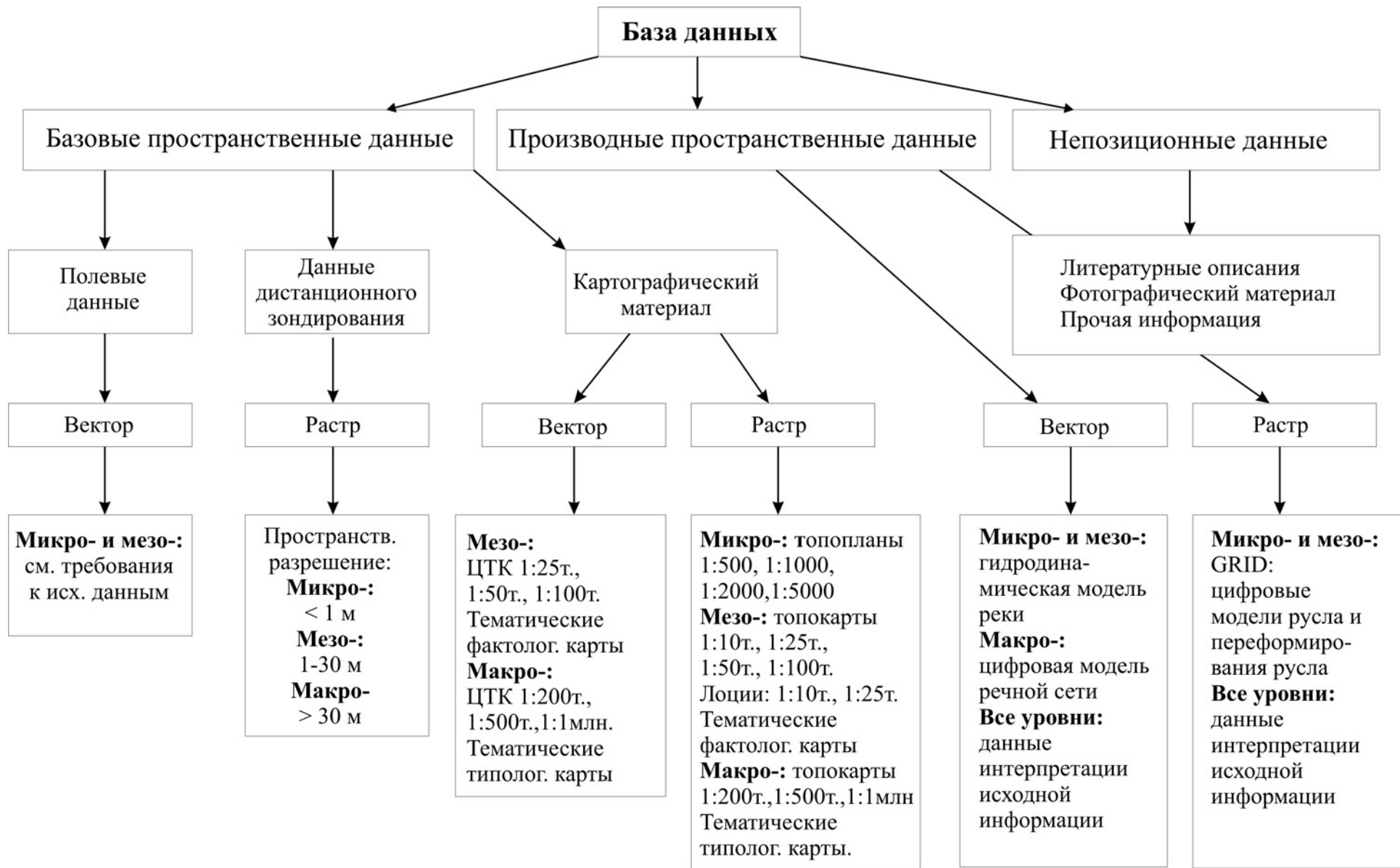


Рис. 2. Логическая структура базы данных для изучения русел и пойм равнинных рек

Подсистема хранения данных. Рекомендуется хранить данные БД на современных магнитных носителях большого объёма (100-500 ГБ и более), что обеспечит свободу действий по обработке растровых данных, имеющих, как правило, огромные размеры.

Подсистема обработки и моделирования данных. Для обработки и моделирования пространственных данных рекомендуется использовать современные геоинформационные системы с функциями геопространственного анализа, обработки данных дистанционного зондирования, цифрового моделирования рельефа, и ГИС-картографирования. Примерами таких систем могут служить следующие программные продукты: ArcView и ArcGIS компании ESRI; ERDAS компании ERDAS Inc.; ENVI компании ITT Corp.; MapInfo компании MapInfo Corp. и др.

Подсистема визуализации данных. Визуализация данных может быть представлена на экране монитора в электронном виде как в форме электронных карт и геоизображений, так и в виде компьютерных распечатанных на бумаге карт.

Образец базы данных. На основе разработанных в ходе диссертационного исследования рекомендаций был подготовлен образец базы данных, реализованной на основе программного пакета ArcGIS компании ESRI. Векторные данные представлены в БД в формате ShapeFile. Растровые данные представлены в распространённых мировых форматах GeoTiff, Tiff, Jpeg и IMG; сведения о математической основе в этих данных указаны внутри заголовков основных файлов, либо сопровождаются отдельными файлами привязки. В формате TXT описаны метаданные растровых данных. Непозиционные тематические данные хранятся в форматах TXT и XLS; литературные описания – в формате TXT.

Модель базы данных.

Для апробации предложенных содержания и структуры базы данных для изучения русел и пойм равнинных рек автором разработана модель базы данных, включающая блок пространственных данных и блок описательной информации (см. рис. 3).

Структура блока пространственной информации включает данные для русла и поймы равнинных рек, представленные в растровом и векторном виде на трёх масштабных уровнях исследования.

Модель базы данных учитывает информацию в пределах каждого географически локализованного участка рассматриваемой реки, территориально включающего русло и пойму реки. Данные могут быть представлены как на одно только русло реки, или только на пойму, так и быть объединены для одного пойменно-руслового комплекса.

Наполнение базы данных в русловой части производится по материалам полевых изысканий, данных ДЗЗ и картографических источников. Наполнение пространственными данными в пойменной части выполняется на основе полевых топографо-геодезических съёмок, оцифрованных топографических карт и

материалов дистанционного зондирования. Детализация цифровых данных должна отвечать разработанным требованиям к точности исходных данных и соответствовать одному из трёх масштабных уровней исследований: микро-, мезо- или макро-.

Предложенная модель базы данных частично заимствует разработки А.К. Ильясова (2005) в области геоинформационного картографирования русел крупных рек, но учитывает особенности выделенных автором масштабных уровней исследований, требования к точности исходных данных для каждого уровня и опирается на озвученные автором задачи исследований русел и пойм равнинных рек.

Предложенная модель базы данных позволяет получать производную информацию – цифровые модели: речной сети, руслового рельефа, переформирования русла, гидродинамической модели реки. Блок описательной информации содержит в себе тематические данные, литературные описания, фотографический материал, а также прочую информацию.

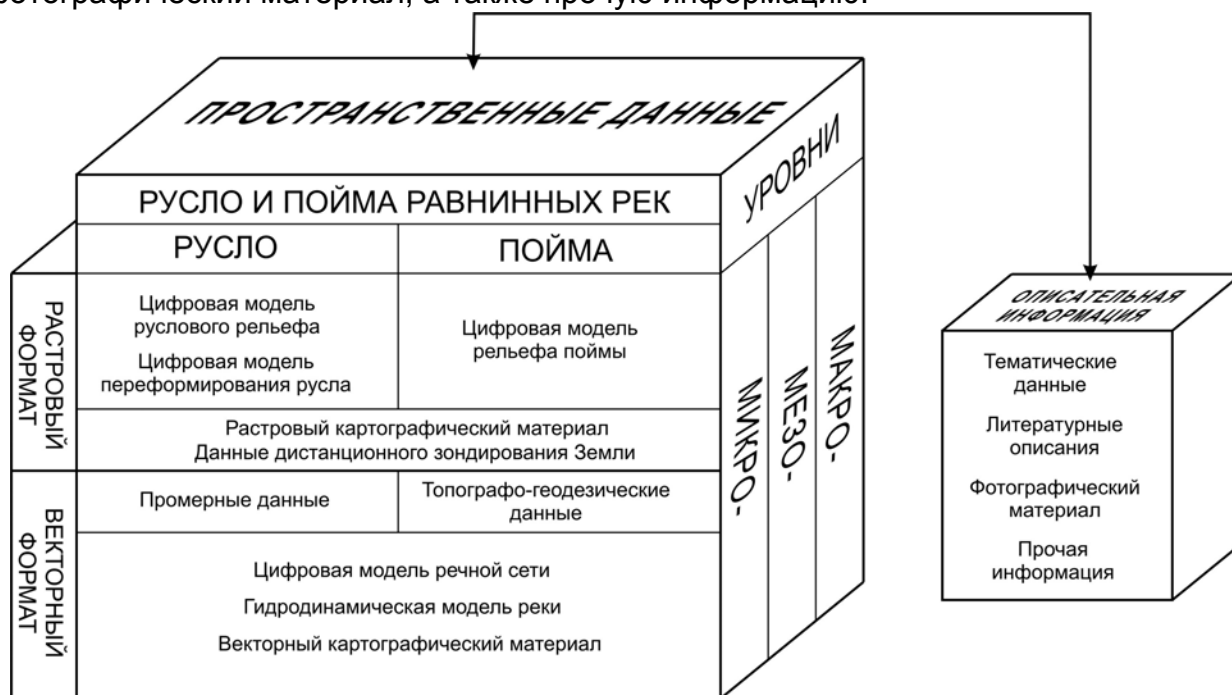


Рис. 3 Модель базы данных, состоящая из блока пространственных данных и блока описательной информации

Представленная база данных позволяет визуализировать полученную информацию, выполнять геопространственный анализ, выводить на экран электронные карты и другие геоизображения, строить трёхмерные модели и блок-диаграммы и, тем самым, способствует **изучению** русел и пойм равнинных рек и опасных гидрологических явлений, происходящих на них.

Отдельной задачей в диссертации явилась разработка способа изучения объекта и предметов исследования через **картографирование**. Для разработки методов геоинформационного картографирования на основе предложенной модели базы данных автором подготовлен образец базы данных, позволивший на

конкретных примерах решить озвученные на концептуальном уровне задачи.

Образец базы данных включил в себя собранные автором сведения об участках трёх рек: Лены, Волги и Большой Хеты. База данных позволяет изучать и картографировать русла и поймы указанных равнинных рек на *микро-* и *мезоуровнях* и включает: промерные данные; геодезические данные о положении в пространстве магистральных трубопроводов; топографические карты масштабов 1:25 000 и 1:200 000; космические снимки Landsat ETM+ и IRS 1C/1D; лоцманскую карту на картографируемый участок р. Лена; атлас единой глубоководной системы европейской части РСФСР (1987); табличные данные о срезке рабочего уровня над проектным; табличные данные о нивелировке рабочего уровня воды; табличные, текстовые и фотографические материалы водолазных работ при обследовании трубопроводов; данные интерпретации космических снимков; цифровые модели руслового рельефа; цифровую модель русла и поймы; цифровые модели переформирования русла; гидродинамическую модель реки.

Глава 4. Использование баз данных для картографирования русел и пойм равнинных рек

Разработанный автором образец БД использован для создания методики геоинформационного картографирования русел и пойм равнинных рек, а также опасных гидрологических явлений, происходящих на них.

Указанная методика апробирована для участков рек Верхней Волги, среднего течения реки Лены и Большой Хеты. Результаты представлены в виде цифровых, электронных и компьютерных карт, изданного атласа единой глубоководной системы европейской части России (2005) и картографических анимаций.

В *географических исследованиях* база данных использована при составлении русловых карт (см. рис. 4) и карт динамики затопления поймы реки в результате заторных явлений (см. рис. 5).

Русловые карты и планы являются основой для анализа русловых процессов, а также используются при проектировании путевых работ. Они составляются, как правило, по материалам полевых исследований, проводимых изыскательскими партиями. Русловые карты отображают рельеф и подробное морфологическое строение русла и поймы реки, а также их отдельных компонентов (Серебряков, Лопатин, 1983).

Карты динамики затопления поймы реки вследствие заторных явлений можно отнести к отраслевой географической дисциплине – *динамической гидрологии* (Ушакова, 1994). Карты динамики затопления поймы реки показывают состояние явлений на разных отрезках времени. Серия таких карт выступает как пространственно-временная модель развития явления. На основе базы данных также были созданы карты, отражающие состояние реки на момент максимального затопления (карты векторов скоростей течения; карта уровней водной поверхности).

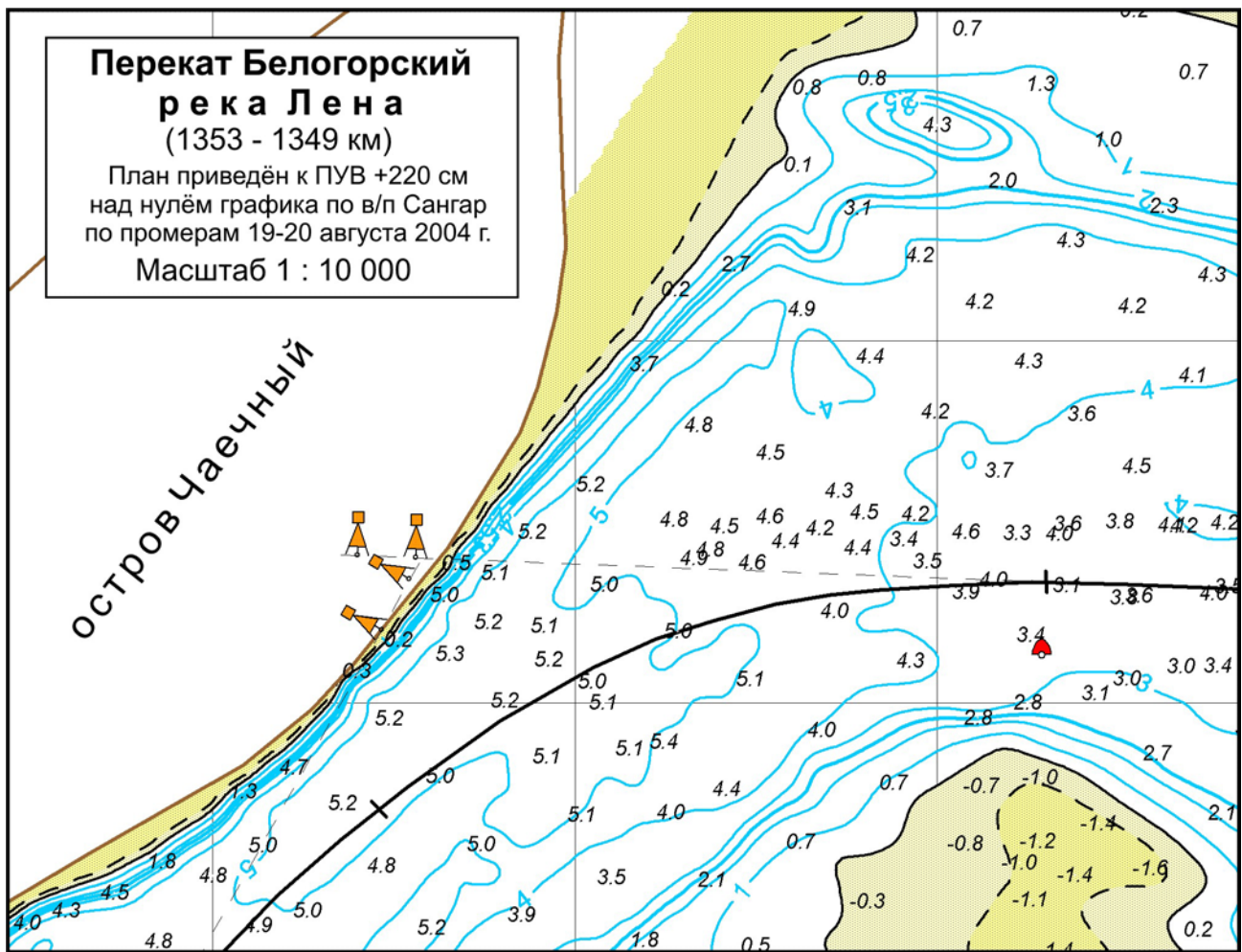


Рис. 4. Фрагмент русловой карты

В прикладных исследованиях база данных использована для составления навигационных карт внутренних водных путей РФ (лоций) (см. рис. 6), а также для создания карт оценки воздействия русловых деформаций на магистральные трубопроводы и гидротехнические сооружения. К сожалению, из-за ограничения объёма, иллюстрации к последнему типу карт в автореферате представлены не были.

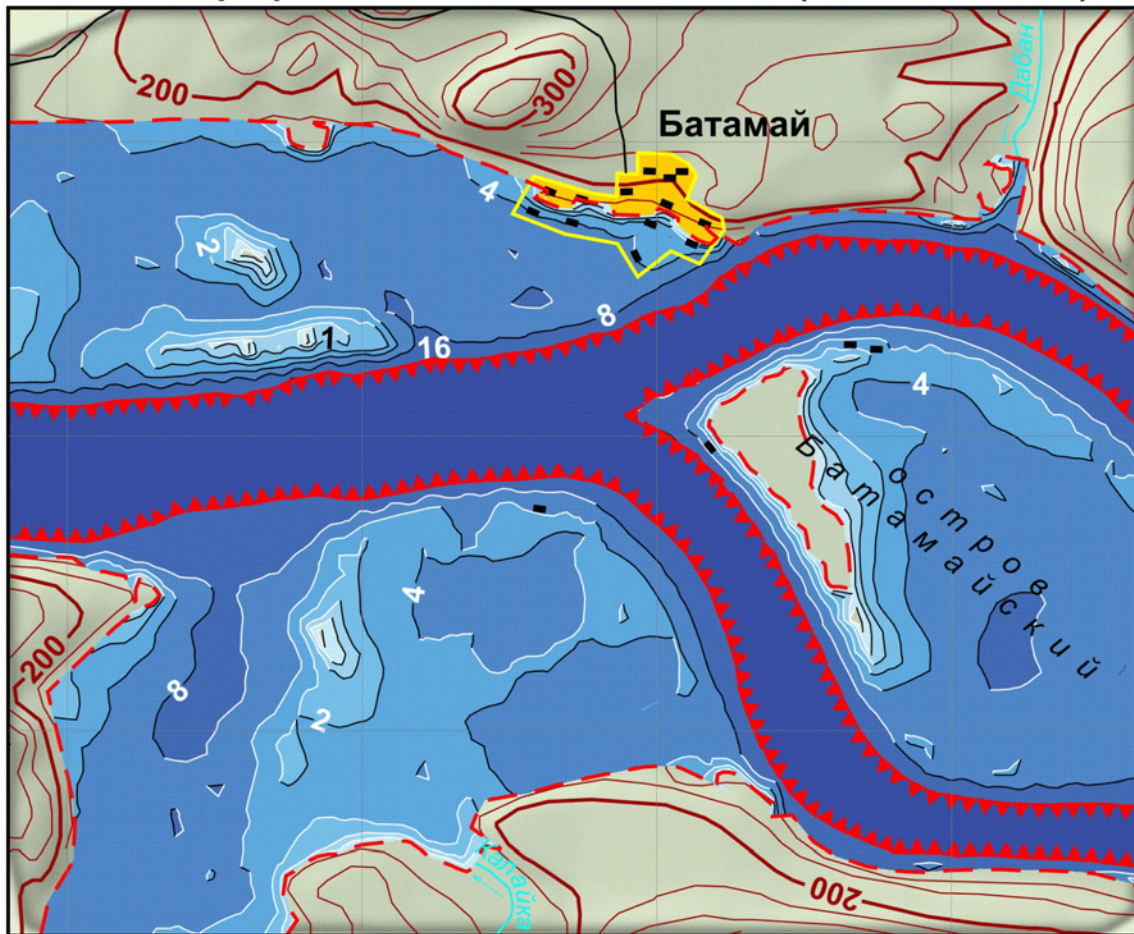
Лоции являются практическим пособием для судоводителей. Они знакомят с условиями плавания по водным путям и предназначены для глазомерной ориентировки при судовождении.

Условные обозначения:

- изобаты
- гарантированная глубина
- урез воды
- "сухие" изобаты
- пойменная бровка
- глубины
- рельеф суши, в метрах
(в системе отсчёта глубин)
- осевые створы
- створная линия
- судовой ход
- буи

ЗОНЫ ЗАТОПЛЕНИЯ пос. БАТАМАЙ

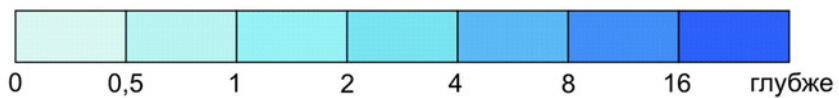
в катастрофическое наводнение 2001 г. (пик половодья)



Масштаб 1 : 50 000 (в 1 см 500 метров)

Проекция Гаусса-Крюгера

ШКАЛА ГЛУБИН В МЕТРАХ



Зоны затопления

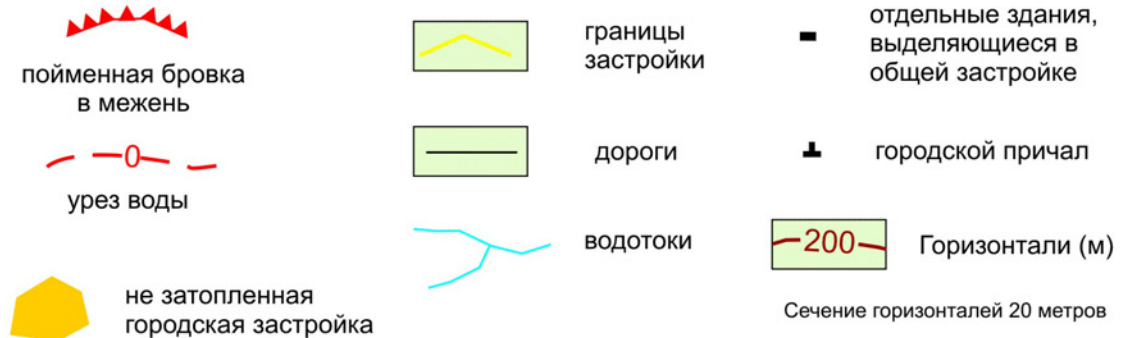


Рис. 5. Карта зоны затопления поймы и пос. Батамай в результате заторного явления

Кроме того, лоции используют при проектировании путевых и разнообразных строительных работ на водных путях, а также при организации эксплуатационной работы транспортного флота.

На основе базы данных автором были подготовлены компьютерные навигационные карты в масштабе 1:25 000 на участок р. Волга от г. Дубна до д. Коприно, вошедшие в новое издание Атласа единой глубоководной системы Европейской части РФ (2005): том 2, листы 25-35 (167-381 км по судовому ходу).

Помимо вышеуказанных карт, на участок р. Лена подготовлена картографическая анимация, демонстрирующая постепенное формирование и деградацию волны половодья, состоящая из 34 карт-слайдов. Анимация представляет собой развитие событий в течение 21,5 суток. Картографический ролик построен с меняющимся временным масштабом: в начале и в конце ролика одной секунде соответствуют одни сутки в реальном масштабе времени (временной масштаб 1:86 400), а посередине ролика одной секунде соответствует 12 часов (временной масштаб 1:43 200).

Временной масштаб сделан «плавающим» и более медленным для быстро-текущих процессов, происходящих на пике половодья, и ускорен в 2 раза для стадии зарождения и деградации волны прорыва.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведённых теоретических исследований и экспериментальных работ была решена **основная задача диссертации** – дано теоретическое обоснование и разработаны структура и содержание баз данных для изучения и картографирования русел и пойм равнинных рек, выполненное на разных масштабных уровнях.

Результаты диссертационного исследования состоят в следующем:

1) Исследования русел и пойм равнинных рек предложено выполнять на трёх масштабных уровнях: *микро-*, *мезо-* и *макро-*. В основе каждого уровня лежат соответствующие генетически однородные *микро-*, *мезо-* и *макроформы* руслового рельефа. Для микроуровня выбран масштабный ряд 1:500 – 1:5 000, на котором выполняется подробное изучение небольших участков рек. Для мезоуровня исследований принят масштабный ряд 1:10 000 – 1:100 000. На нём изучаются значительные по протяжённости участки рек. Для макроуровня исследований выбран масштаб 1:100 000 и мельче – это обзорно-аналитический уровень изучения русел и пойм рек, связанный с созданием типологических типов карт.

2) Для каждого из предложенных уровней исследований разработаны требования к точности исходных данных и указаны величины среднеквадратических погрешностей положения точек планового обоснования, положения предметов и контуров местности. В основу требований положены государственные стандарты, ведомственные строительные нормы, своды правил, руководства и инструкции и

другие источники. Каждый масштабный уровень исследований представлен базовыми источниками информации: топографо-геодезическими данными, промерными данными, картографическими материалами, данными ДЗЗ, информацией БД и ГИС, тематическими данными и прочей информацией. Числовые значения точности и рекомендации использования тех или иных приборов сведены в обобщающую таблицу и представлены для каждого источника информации.

3) На основе выделенных задач, решаемых при изучении русел и пойм равнинных рек, и предложенных трёх масштабных уровней исследования на концептуальном, логическом и физическом уровнях разработаны и подробно описаны содержание и структура баз данных.

4) Для апробации выполненных рекомендаций разработана модель базы данных, включающая блок пространственных данных и блок описательной информации. Структура блока пространственной информации включает данные на русло и пойму равнинных рек, представленные в растровом и векторном виде на трёх масштабных уровнях исследования. Для разработки методики геоинформационного картографирования на основе предложенной модели подготовлен образец базы данных. На конкретных примерах участков рек Лены, Волги и Большой Хеты разработана и апробирована методика использования БД в целях картографирования русел равнинных рек в географических и прикладных исследованиях, проводимых на микро- и мезоуровне.

Разработаны следующие карты:

- составлены русловые карты в масштабах 1:25 000 и 1:10 000 на русло р. Лена и отдельные перекаты (1474 – 1345 км по судовому ходу);
- составлены карты в масштабе 1:50 000: серия карт динамики затопления поймы р. Лена в районе г. Ленск (5 шт.); карты максимального затопления поймы р. Лена в районе пос. Батамай; карты уровней водной поверхности и скоростей (векторов) течения в районе г. Ленск;
- составлены карты воздействия русловых деформаций на магистральные трубопроводы на участок р. Большая Хета в масштабе 1:5 000;
- составлены электронные навигационные карты (лоции) на участок р. Волга в масштабе 1:25 000 (четыре фрагмента);
- на основе электронных навигационных карт подготовлены компьютерные навигационные карты (лоции) в масштабе 1:25 000 на участок р. Волга от г. Дубна до д. Коприно, вошедшие в новое издание Атласа единой глубоководной системы Европейской части РФ (2005): том 2, листы 25-35 (167-381 км по судовому ходу);
- на участок р. Лена подготовлена картографическая анимация, демонстрирующая постепенное формирование и деградацию волны половодья, состоящая из 34 карт-слайдов. Анимация представляет собой развитие событий в течение 21,5 суток. Картографический ролик построен с меняющимся временным масштабом (1:86 400 и 1:43 200).

Основные научные результаты диссертации изложены в рекомендованном ВАК журнале:

1. Составление навигационных карт на участок Верхней Волги методами ГИС-картографирования // Геодезия и картография. 2007. № 5. С. 58-62.

А также в следующих публикациях:

2. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. Том 2. Водные пути от Москвы до городов Рыбинск, Череповец и Тверь – С-Пб.: ГБУ «Волго-Балт», 2005. – 47 л. (Листы 25-35) (коллектив авторов)
3. Картографирование русел равнинных рек на основе базы пространственных данных // Материалы международной конференции ИнтерКарто/ИнтерГис-15: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт – Пермь, Гент, 29 июня – 1 июля 2009. Т 1. С. 367-372.
4. Электронные навигационные карты внутренних водных путей РФ // Сб. трудов Второй научной конференции молодых ученых и талантливых студентов «Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность» – М.: Институт водных проблем РАН, 2008. – С. 49-51.
5. Использование русловых картографических баз данных для создания навигационных карт // Материалы XV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» – М.: МГУ, 2008. [Электронный ресурс].
6. Разработка методики составления отдельных элементов ландшафта на сезонных топографических картах // Материалы XIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» – М.: МГУ, 2006. – С. 149. (соавторы: Аршинова С.Н., Быстрова А.Г., Голиков Г.А. и др.)
7. Разработка содержания и методики составления электронной навигационной карты // Материалы XII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» – М.: МГУ, 2005. – С. 16.
8. Определение содержания и разработка методики создания специализированных топографических карт // Материалы XII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» – М.: МГУ, 2005. – С. 151. (соавторы: Аршинова С.Н., Аш Е.В., Баринов А.Ю. и др.)
9. Применение микрокомпьютеров и приёмников спутникового позиционирования при проведении геодезических работ // Материалы X международной юбилейной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» – М.: МГУ, 2003. – С. 156. (соавторы: Александрович М., Алексеенко О., Аршинова С. и др.)