

На правах рукописи
УДК 551.461.3

АНТОНОВ Николай Григорьевич

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ГЕОИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ
ОСВЕЩЕНИЯ ОБСТАНОВКИ ФЛОТА

Специальность: 25.00.35 – "Геоинформатика"

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург 2007

Работа выполнена в Государственной морской академии им. адм. С.О. Макарова

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Биденко Сергей Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Митько Валерий Брониславович;

кандидат технических наук
Васильев Игорь Анатольевич

Ведущая организация: Государственный научно-исследовательский навига-
ционно-гидрографический институт МО РФ

Защита состоится 01 ноября 2007г. в 15-30 ч. на заседании Диссертационного со-
вета Д 212.197.03 в Российском государственном гидрометеорологическом уни-
верситете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д.3, аудитория
406.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного
гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан 28 сентября 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д.212.197.03
доктор технических наук, профессор

П.П. Бескид

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Земная поверхность (ЗП) является объектом исследования специалистов различных предметных областей, связанных с функциональной активностью в пределах географической оболочки Земли.

Исследователи в области теоретической и прикладной геоинформатики изучают имеющую привязку к ЗП информацию (геоинформацию) для решения задач стратегического и тактического планирования социальной активности на реальной земной поверхности.

Представление и анализ геоинформации (ГИ) о навигационно-гидрографической обстановке является актуальной задачей в связи с возрастанием активности флота России в морской и океанской зоне.

Современные действия флота характеризуются глобальным территориальным охватом и содержательно сложным функционированием в геопространстве. Эти процессы целиком протекают в базовой навигационно-гидрографической среде. Теория и практика действий флота указывают на непрерывное возрастание значимости навигационно-гидрографического обеспечения (НГО) функционирования и взаимодействия геообъектов флота.

Подтверждением тому служит повышенный интерес и практическая деятельность развитых стран мира по созданию новых и совершенствованию существующих систем мониторинга и освещения навигационно-гидрографической обстановки в морской зоне.

Одним из приоритетных направлений обеспечения национальной безопасности РФ в области морской деятельности является создание Единой государственной системы освещения надводной и подводной обстановки (ЕГСОНПО), основой которой должна стать Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), и ее специальный контур, базирующийся на системе освещения обстановки (СОО) флота.

Для повышения адекватности представления и оперативности обработки навигационно-гидрографической информации (НГИ) в настоящее время широко внедряются средства геоинформатики – геоинформационные системы (ГИС) и геоинформационные технологии (ГИТ).

Развивающиеся возможности ГИТ обеспечивают более эффективное решение задач сбора, представления, анализа НГИ, однако среди множества программных продуктов, используемых сегодня на рынке полноценных ГИС, в полной мере решение задач генерализации, сжатия, поиска, редактирования специфической НГИ в интересах навигационно-гидрографического обеспечения (НГО) флота.

Описательный характер моделей географических объектов, значимых в практике НГО и их пространственно-логических связей в известных ГИС не может быть эффективно использован без существенных изменений принципа представления географических объектов.

Необходимость преодоления основного и частных противоречий между обширным числом существующих универсальных ГИС общего назначения (ориентированных на широкий круг пользователей) и спецификой задач обработки ГИ в интересах НГО флота, включающих широкий спектр разнородных функциональных

зависимостей и требующих реализации специальных функций представления и анализа НГИ, а также между описательным характером представления и отображения объектов и их связей и пространственной сущностью данных обстановки, является основной предпосылкой к проведению настоящего исследования.

Цель исследования – разработка геоинформационных моделей и методов представления и обработки пространственной информации о навигационно-гидрографической обстановке в СОО флота для повышения эффективности территориального анализа геоситуации в морской зоне.

Объектом диссертационного исследования являются процессы автоматизированной обработки пространственной информации о навигационно-гидрографической обстановке в СОО геоинформационными средствами обработки, анализа, представления и отображения ГИ.

Предметом исследования являются геоинформационное моделирование представления, ввода, обработки, анализа, передачи, отображения ГИ в ГИС-приложениях СОО флота.

Для достижения поставленной цели в диссертации решались следующие задачи исследования:

1. Произвести анализ требований к обработке и представлению НГИ в СОО флота.
2. Разработать, методики и модели получения, обработки, транспортировки и хранения ГИ в СОО флота.
3. Разработать методику преобразования и анализа ГИ, обеспечивающую автоматическую генерализацию, пространственное распределение и изолинейное моделирование в СОО флота.
3. Разработать методику управления пространственно распределенными базами ГИ, обеспечивающую повышение оперативности, согласованности точности, релевантности ГИ.

На защиту выносятся следующие научные результаты:

1. Методики геомоделирования НГИ в СОО флота, включающие преобразование, генерализацию, пространственного распределение и изолинейное представление ГИ.
2. Методика управления пространственно распределенными базами ГИ в СОО флота.

Научная новизна полученных в работе результатов состоит в следующем.

1. Многоуровневая содержательная модель обработки ГИ отличается реализацией требований унификации, интеграции и обобщения ГИ, что обеспечивает: снижения размерности ГИ; повышения достоверности и точности ГИ; трансформацию ГИ к виду, удобному для отображения обстановки в СОО; взаимосвязь уровней интеграции ГИ с математическими методами и программным обеспечением геоинформационных средств СОО.
2. Методики геомоделирования в СОО флота отличаются использованием комбинаторных моделей, неориентированных графовых структур и интегральных методов обработки точечных измерений, что позволяет уменьшать количество и повышать оперативность ГИ за счет автоматической генерализации объектов НГИ,

пространственного осреднение параметров НГИ, позиционирования по изолированным полям, упорядочения геообъектов по степени сходства.

3. Методика управления пространственно распределенными базами ГИ в СОО флота отличается реализацией требований релевантности, территориальной распределенности и экономичности обработки ГИ, что обеспечивает качество реализации геоинформационных потребностей пользователей СОО флота.

Теоретическая значимость полученных научных результатов состоит конкретизации и разработке более эффективных принципов геомоделирования в СОО флота - комплексных моделей представления априорной и оперативной НГИ, а также разработке методологии интегрального использования разнородной геоинформации, активизации пространственной информации.

Практическая ценность заключается в разработке и реализации оригинальных геомodelей и методик обработки, анализа и преобразования ГИ в СОО флота, обеспечивающих эффективную обработку разнородной НГИ больших объемов.

Предложенные модели и методики могут быть использованы при подготовке ТЗ на разработку перспективных геоинформационных средств обработки НГИ в СОО флота.

Достоверность основных положений и выводов диссертационной работы базируется на достижениях ведущими учеными-географами, строгом обосновании основных научных положений, использовании апробированных численных методов оценки, принципах моделирования, применении общепринятых допущений и ограничений, соблюдении формальных условий применимости используемых методов и подходов. Она обосновывается данными экспериментальных исследований, результатами практического применения, в органах военного управления, промышленных и научных организациях. Достоверность результатов подтверждается их внедрением в научно-исследовательские работы, фонды алгоритмов и программ, учебный процесс, апробацией и публикациями по теме диссертации.

Реализация результатов. Основные научные результаты внедрены и реализованы: в НИР «Прогресс ФВО-ГМ», «Специалист», «ГЕО-2006», «Обучение»; в фонды алгоритмов и программ ГУНиО МО, ГНИНГИ МО РФ; в учебный процесс РГГМУ, ВМИРЭ им. А.С. Попова, СПб ВМИ, ГМА им. адм. С.О. Макарова.

Апробация работы Результаты диссертационного исследования апробированы на пяти межвузовских конференциях, научно-теоретических семинарах ВМИРЭ им. А.С. Попова, СПб ВМИ, ГМА им. С. О. Макарова.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ, из них 11 статей в научно-технических изданиях, 3 тезиса докладов на конференциях и 4 отчетов по НИР.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 87 наименований, и 4-х приложений. Работа изложена на 176 страницах и содержит 12 рисунков и 11 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы задачи, объект, предмет и цель исследования, новизна исследования, представлена

краткая характеристика содержания диссертационной работы и основные научные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе осуществляется анализ процессов обработки ГИ (навигационно-гидрографической) в системе освещения обстановки ВМФ.

Установлено, что роль СОО в части НГО флота состоит в организации эффективного использования всех возможностей и ресурсов взаимодействующих подсистем НГО для сбора, обработки и отображения ГИ о навигационно-гидрографической обстановке в зоне ответственности флота.

Определено, что главной задачей СОО является сбор, обработка, анализ и представление ГИ о навигационно-гидрографической обстановке в жизненно важных для РФ районах мирового океана. Помимо основной задачи, СОО в составе ЕСИМО решается целый ряд сопутствующих задач, связанных с информационным обеспечением всех видов морской деятельности России. Важнейшими геоинформационными задачами СОО является поддержание в реальном масштабе времени защищенного сегмента геоинформационного пространства, содержащего координатно-объектовые данные о навигационно-гидрографической обстановке и состоянии водной среды, а также обеспечение режима использования указанного пространства всеми заинтересованными органами государственного и ведомственного управления.

Достижение указанных выше результатов является проблематичным по ряду причин, вытекающих из сущности СОО и закономерностей ее построения и функционирования. К основным из этих причин можно отнести следующие:

большой пространственный размах СОО, включающей в свой состав средства сбора, обработки, передачи НГИ, а также пункты управления СОО и потребителей ГИ;

большое количество разнотипных источников ГИ и необходимость оперировать большими объемами разнородных геоданных, поступающих по различным каналам связи зачастую в не совместимых стандартах;

необходимость геоинформационного обеспечения соответствующих органов государственного и ведомственного управления геоданными о навигационно-гидрографической обстановке в интересах управления силами и объектами флота, находящимися в различных районах Мирового океана. Особенности и уровень различных органов управления предъявляют определенные требования к характеристикам (объем, точность, периодичность и т.п.) выдаваемой им ГИ;

большой объем разнородных геоданных, циркулирующих в СОО, затрудняет, а порой делает невозможным, эффективное функционирование СОО в интересах НГО флота.

Таким образом, можно констатировать наличие проблемы - необходимости обеспечения решения задач обработки и представления НГИ в СОО с заданной эффективностью за счет оптимизации методов обработки и распространения ГИ в СОО (рис. 1). Решение данной проблемы возможно только на базе применения в информационных процессах СОО современных базовых механизмов ГИТ с использованием оригинальных геоинформационных методов обработки и анализа НГИ.

К таким логическим геоинформационным средствам в первую очередь относятся модели и методы генерализации НГИ, процедуры хранения и редактирования ГИ большого объема, методики управления пространственно распределенными базами ГИ для обеспечения непрерывной согласованной обработки разнородной НГИ в СОО флота.

Рассмотрены специфические особенности современной ГИ и проблемы, связанные с использованием существующих ГИС в НГО флота. К основным свойствам ГИ в системе НГО можно отнести: 1) объемность – как по количеству, так и по

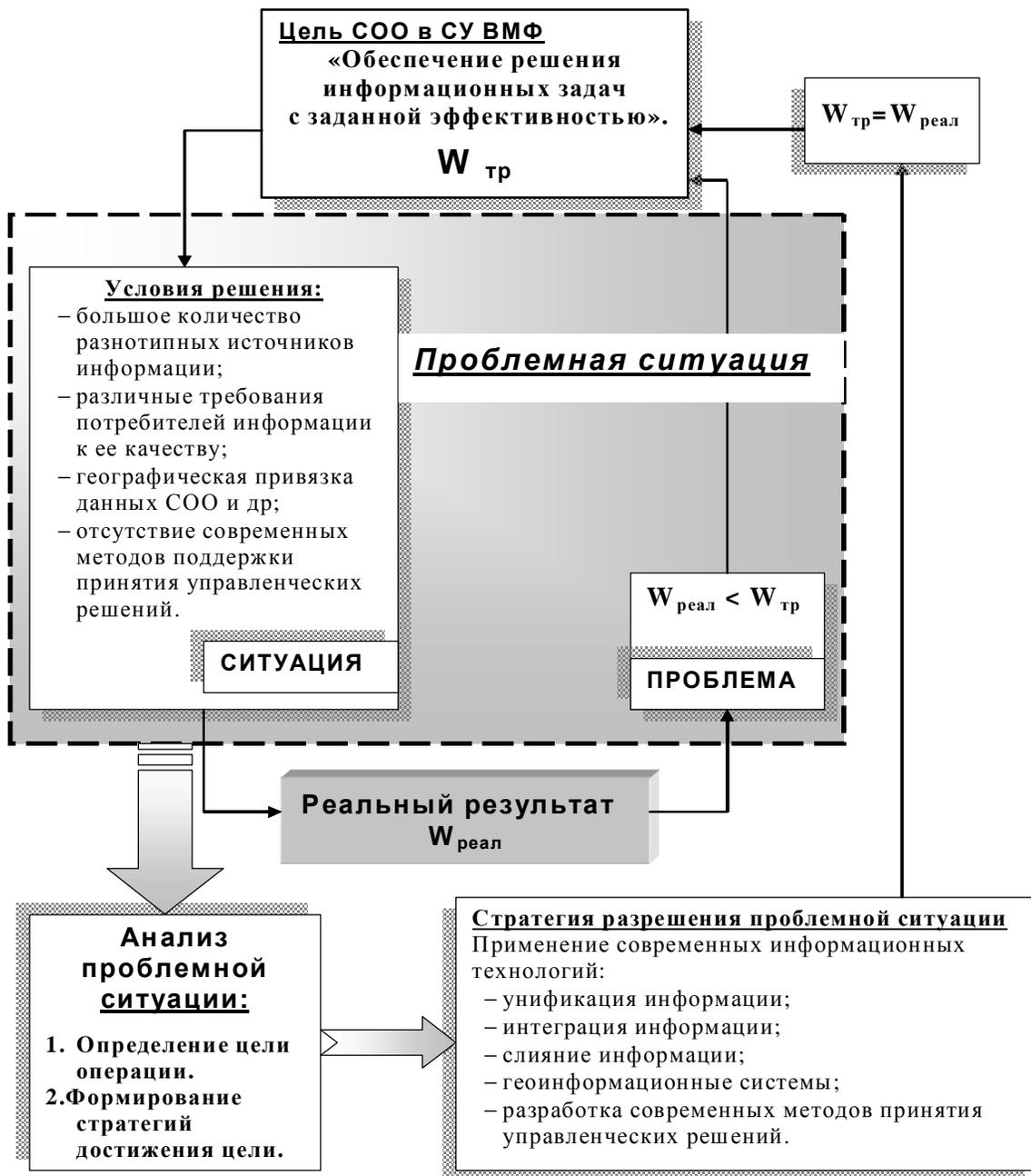


Рис. 1. Проблема обработки ГИ в СОО флота

вычислительным затратам на обработку; 2) многомерность – по пространственно-

временной привязке и по набору атрибутов; 3) разнородность - большое число разнообразных характеристик географических и прочих полей, методов их измерений, понятийной и информационной структурой их описания и методов анализа; 4) аструктурированность – отсутствие фиксированной структуры НГИ как с точки зрения самой ГИ, так и с точки зрения разнородных пользователей НГИ; 5) территориальная распределенность геоинформационных средств получения и накопления первичной НГИ; 6) неопределенность структуры и вида ГИ, которая возможно будет поступать в будущем.

Выявлено, что ведущим является свойство объемности НГИ, требующее применения методов и алгоритмов автоматической массовой обработки ГИ и принципа предобработки.

Установлено, что ГИС-технологии общего пользования не обеспечивают ввод неструктурированной, разнородной НГИ. Реляционная и объектно-ориентированная структура геоданных, используемая в ГИС, недостаточно эффективна для этого. В ГИС отсутствуют алгоритмы, обеспечивающие возможность массовой обработки ГИ большого объема. Система визуализации ГИС также не предназначена для больших объемов информации. Кроме того, она приводит к искажению графических образов ГИ, что так важно при обеспечении ответственных решений в ВМФ. Передача по каналам связи больших объемов информации для оперативного обеспечения невозможна на основе ГИС-технологий. Отсутствие явного исследования адекватности применяемых в алгоритмах математических свойств и свойств ГИ приводит к использованию в ГИС-технологиях алгоритмов, создающих множественные ошибки при обработке и анализе. Это так называемые алгоритмы интерполяции, изменения масштаба, расчета дифференциальных характеристик, среднего значения и т. д. Существующие ГИС-технологии не учитывают указанные свойства ГИ и тем самым не могут являться основой для эффективной компьютерной системы обеспечения СОО НГИ.

Одним из основных требований, вытекающим из специфических особенностей функционирования СОО флота, является требование согласованности НГИ на различных уровнях. Обработка ГИ в СОО определяется не только управляющими технологиями, но и пространственно-временным масштабом. Поэтому необходимо, чтобы ГИ для различных пространственно-временных масштабов была согласована еще и по достоверности. Это, в свою очередь, определяет требование адекватного представления пространственно-временной изменчивости ГИ. Другими словами, необходимо соблюдать картографические законы генерализации. Отсутствие поддержки автоматической генерализации в ГИС-технологиях является еще одним обстоятельством, препятствующим использованию ГИС в системе компьютерного обеспечения ГИ в СОО флота.

Отсутствие методов автоматической генерализации приводит к невозможности обеспечения скоростного поиска, отбора и визуализации при больших объемах ГИ и, следовательно, к оперативному обеспечению СОО НГИ.

С учетом выявленного круга проблем построена обобщенная структура компью-



Рис. 2. Структурная схема геоинформационных средств обеспечения СОО флота НГИ и задачи исследования

терной технологии обеспечения деятельности флота ГИ и сформулированы частные задачи для достижения цели диссертационного исследования (рис. 2). Новыми отличительными особенностями предлагаемой ГИТ являются включаемые в нее процедуры генерализации, удовлетворяющие картографическим требованиям, а также абстрактные структуры пространственного и контекстного поиска совместно с оригинальной структурой хранения ГИ на внешних носителях. Всё это и

отличает предложенную ГИТ от современных ГИС-технологий и технологий электронных навигационных карт.

Во второй главе обосновывается обобщенная содержательная модель и методика обработки НГИ в СОО флота. Показано, что организационно-технической основой геоинформационного обеспечения флота является СОО, т. к. она выполняет роль единого информационного органа на всех уровнях и на всех этапах обработки ГИ в органах управления флота для обеспечения геоданными по функциональной активности в море и геосреде, необходимыми для функционирования системы управления.

Геоданные составляют более 85% информации, обрабатываемой в СОО флота. Определено, что одними из основных процессов обработки ГИ в СОО флота являются: хранения и редактирования ГИ, унификации и интеграции (согласования) ГИ, анализа геоданных.

Важнейшими задачами СОО в процессе обработки ГИ являются: снижение размерности ГИ снизу вверх по иерархии за счет ее обобщения (генерализации); повышение достоверности и точности информации снизу вверх по иерархии; преобразование ГИ в вид, пригодный для использования в органах управления.

Модель обработки информации на уровне одиночного будет иметь вид:

$$R_{il} = \langle X_{il}, Y_{il}, P_{il}, T_{il}, B_{il}, O_{il} \rangle,$$

Модель ситуаций, определённая на потоке, может быть представлена дизъюнктивным произведением вида:

$$M_{il} = M_{il}^1 \vee M_{il}^2 \vee M_{il}^3 \vee M_{il}^4,$$

где: $M_{il}^1 = (P_{il}^u = 1) \wedge (P_{il}^k = 1) \wedge (T_{il}^u < T_{il}^k)$ - ГИ можно полностью доверять и обрабатывать в системе; $M_{il}^2 = (P_{il}^u = 1) \wedge (P_{il}^k = 0) \wedge (T_{il}^u \neq 0, T_{il}^k = 0)$ - неопределённая ситуация, требующая дополнительного исследования с помощью ЛПР, после которого или

отвергается, или пропускается в обработку; $M_{il}^3 = (P_{il}^u = 0) \wedge (P_{il}^k = 1) \wedge (T_{il}^u \neq 0, T_{il}^k \neq 0)$ }
 $M_{il}^4 = (P_{il}^u = 0) \wedge (P_{il}^k = 1) \wedge (T_{il}^u = T_{il}^k = 0)$ } - невозможные ситуации, поэтому сообщению следует не доверять и обрабатывать его отдельно от заведомо достоверных.

В этом случае обработка ГИ будет сводиться к набору статистики по типу, числу обнаруженных классифицированных объектов с её фильтрацией на абсолютно надежную, не надежную и ложную, исходя из анализа событийно-временной логики потока сообщений, поступивших в центр обработки контрольной ГИ в СОО флота.

Модель обработки будет иметь следующий вид:

$A_{il}^r = A_{il}(M_{il}) \times A_{il}^0$ – алгоритм классификации группового объекта, набора статистики по видам, типу, числу обнаруженных и классифицированных объектов;

$A_{il}(M_{il})$ – алгоритм выявления ситуации;

A_{il}^0 – алгоритм дополнительной классификации одиночных и групповых объектов, определения числа движущихся объектов, набора статистики и отображения информации в системе ввода-вывода АРМ оператора СОО.

В случае обработки информации от двух источников, имеющих объектно-пространственно-временную корреляцию (специально организованную информационную связь) двух потоков сообщений, логический фильтр, обеспечивающий разделение потока информации на три составляющих (надежная, ненадежная, ложная), будет сложнее.

Унификация ГИ решает следующие основные задачи: обеспечение доступа к возможно большему числу первичных источников ГИ; возможность преобразования информации в удобный для пользователя вид (декодирование, распознавание, перевод и т.д.); обеспечение доступа к существующим геоинформационным ресурсам. Графически процесс унификации ГИ проиллюстрирован на рис. 3.

В общем случае унификация ГИ предполагает решение ряда задач, совокупность которых можно разделить на следующие группы:

Организационные задачи, предполагающие определение источников и потребителей геоанных, системы получения ГИ и информированность пользователей. Организация защиты и безопасности геоанных.

Технические задачи. Реализация протоколов и стандартов программными и техническими способами, реализация доступа к данным. Реализация защиты и безопасности геоанных.

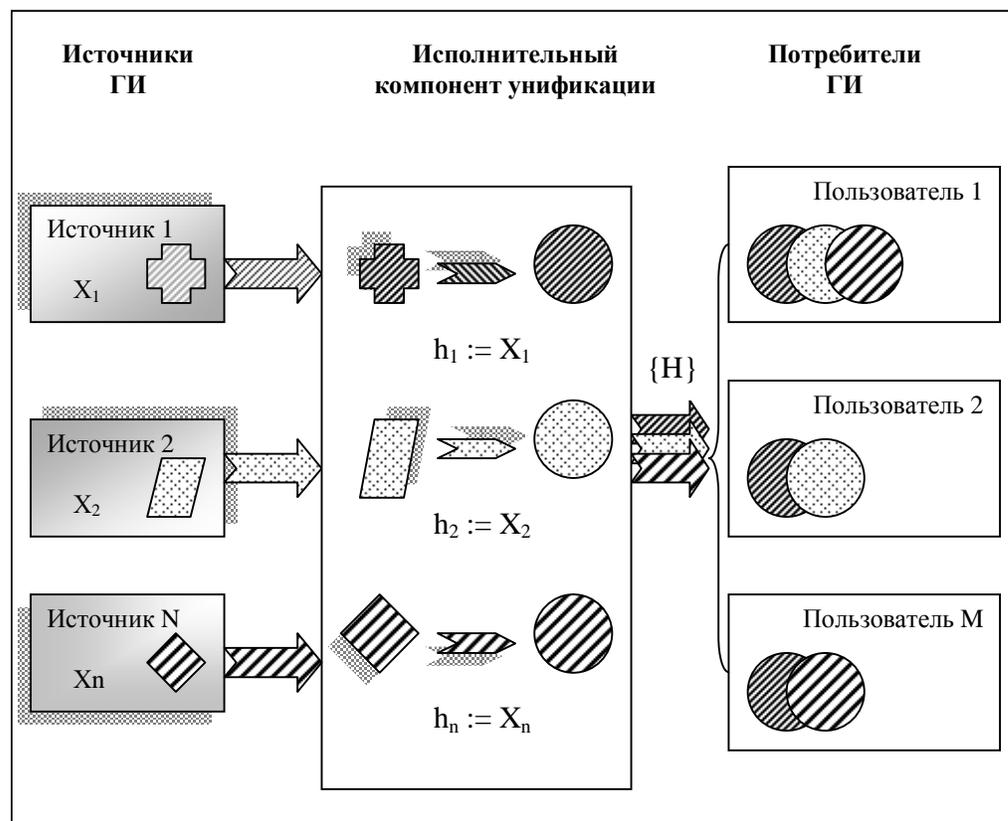


Рис. 3. Процесс унификации ГИ в СОО флота

Интеграция ГИ обеспечивает объединение геоанных от различных источников и доступ к геоинформационным ресурсам для решения текущих задач (моделиро-

вания). Отличительной чертой интеграции ГИ является то, что результат направлен на решения определенного класса задач, использующих ГИ от различных источников, в том числе территориально разнесенных, не синхронизированных по времени и системе координат. Схематично процесс интеграции ГИ показан на рис. 4.

Интеграция предполагает использование результатов процесса унификации ГИ. Установлено, что интеграция неизбежно приводит к увеличению объемов геоданных. Это приводит к необходимости оперировать огромными массивами данных в реальном или близком к реальному масштабам времени

Генерализация и слияние геоданных – это получение нового качества ГИ, уменьшение ее объема. Генерализация ГИ является наиболее сложным этапом преобразования информации, требующем нетривиальных методов пространственного и содержательного обобщения ГИ.

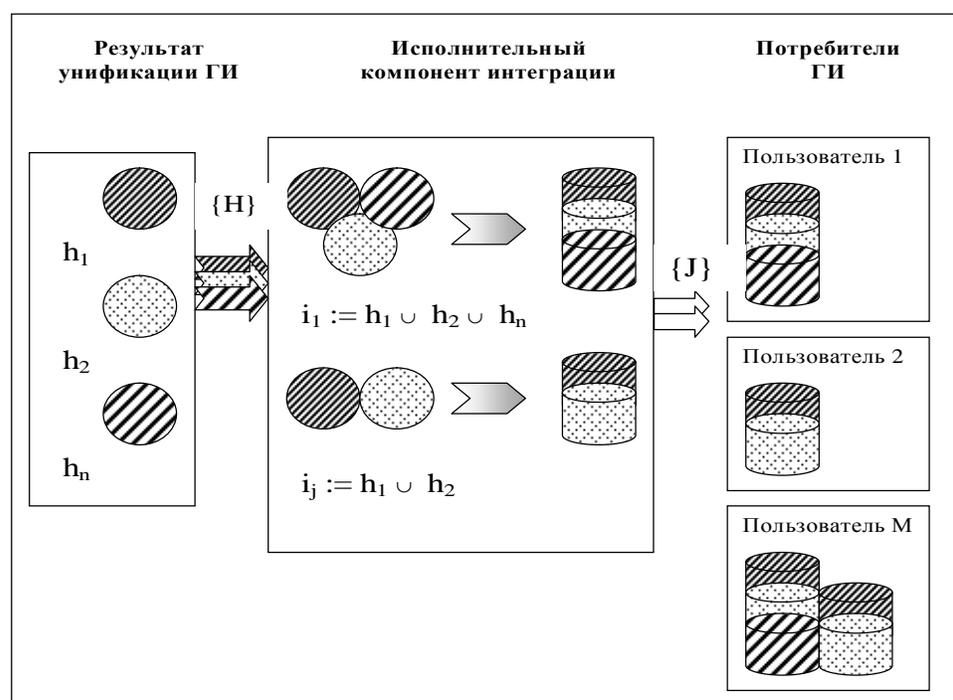


Рис. 4. Процесс интеграции ГИ

Выделенные выше этапы обработки ГИ являются взаимосвязанными и взаимозависимыми. На рис. 5 представлена обобщенная модель обработки ГИ иллюстрирует сделанные выводы по организации обработки информации в СОО ВМФ на основе многоуровневой модели обработки информации, базирующейся на унификации, интеграции и слиянии информации.

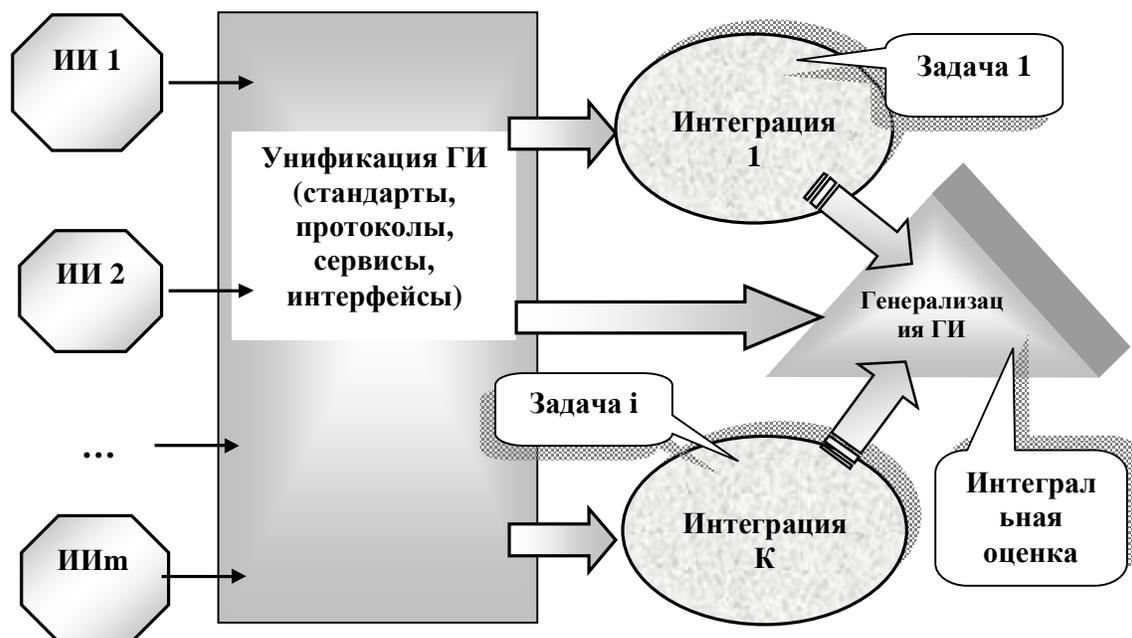


Рис. 5. Обобщенная модель обработки ГИ в СОО флота

Разработка методик ввода, хранения, обработки, поиска, выбора, внешнего доступа и визуализации ГИ, обеспечивающих требования к функционированию СОО флота выполнена с учетом свойств ГИ и ограничений, накладываемых со стороны существующих компьютерных вычислительных ресурсов и сетевых технологий в СОО.

Для получения информации удаленного доступа предлагается система многокомпонентной программной среды. При этом весь процесс обработки и подготовки информации осуществляется на стороне сервера, а удаленному пользователю пересылаются только сформированные геоданные с включенными в них программами (скриптами) для интерактивного обмена с сервером. В существующих ныне ГИС-технологиях пересылаются не только данные, но и программы, и обработка осуществляется на стороне пользователя. Предлагаемый подход обеспечивает уменьшение размера пересылаемых данных и увеличение защищенности программной среды пользователя.

Предложена методика ввода ГИ с плохо типизированной структурой. В основу этой подсистемы положена разработанная абстрактная спецификация ГИ в виде структуры ориентированного циклического корневого мультиграфа с нагруженными ребрами и помеченными узлами.

Узлы и ребра в таком графе интерпретируются как «атрибуты» ГИ. Нагруженность ребер характеризует возможность введения различных типов семантических связей между узлами графа. Цикличность предполагает возможность вводить ссылки узла на «себя». Свойство помеченности позволяет классифицировать наборы узлов по различным семантическим уровням.

Обоснован способ «поквадратного» хранения векторной ГИ с индексацией квадратов, основанный на специальном виде отображения точек многомерного про-

странства в точки одномерного отрезка – кривой Гильберта. Это отображение позволяет построить эффективную структуру хранения многомерной ГИ на внешнем носителе и алгоритмы процедуры запроса к ГИ. Предлагаемый способ приводит к минимизации затрат по оперативной памяти и времени обработки запроса, так как учитывает физический принцип линейного хранения ГИ на внешнем носителе.

Построение кривой Гильберта определяется рекурсивной процедурой, в процессе которой вычисляются эффективные индексы, не требующие построения хеш-функции и позволяющие организовать индексно-последовательный доступ к ГИ. Кроме того, возникает возможность дробления исходной области на иерархическую структуру вложенных квадратов. Это позволяет хранить объекты, полностью относящимися к квадратам, которыми они покрываются (за исключением больших для загрузки в память объектов), что уменьшает время на сборку объектов. Кроме того, можно уменьшить время на повторную загрузку в память, вводя критическое расстояние удаление окна сканирования от объекта, и, тем самым, ускорить решение задач определения близости.

Рекурсивный алгоритм построения кривой Гильберта изложен в виде абстрактного автомата. Представлены быстрые алгоритмы преобразования расстояния вдоль кривой Гильберта в координаты и обратное преобразование координат в расстояние вдоль кривой Гильберта.

Описаны структуры хранения и выборки для визуализации и поиска ГИ. Получены комбинаторные соотношения, связывающие порядок кривой Гильберта и размеры объекта.

Представлена структура файлов ГИ на внешнем носителе, в которой реализовано одновременное хранение, как исходных геообъектов, так и генерализованных. Это увеличивает объем памяти на внешнем носителе, однако позволяет построить гибкую систему обработки запросов, учитывающую текущий доступный размер оперативной памяти и необходимую скорость выполнения операций, обеспечивающих обработку запросов.

Разработаны алгоритмы обработки ГИ большого объема. Использование стандартных алгоритмов вычислительной геометрии, применяемых в ГИС, для обработки ГИ большого объема приводит к значительным затратам по времени и памяти. Под массовой обработкой понимаются численные операции с массивами ГИ, содержащими более миллиона точек. Эффективность алгоритма оценивается по затратам памяти и времени выполнения для худшего случая, как принято в вычислительной геометрии. Для количественной характеристики эффективности алгоритма используется асимптотическая оценка вида $O(f(N))$. Допустимые вычислительные ресурсы по памяти оцениваются по техническим характеристикам «типичной» ЭВМ типа Pentium-IV с Гб ОЗУ. Для такого типа ЭВМ эффективное решение численной задачи возможно при размере выделяемой оперативной памяти до $M_{\max} \approx 10$ Мб. Что касается допустимых вычислительных ресурсов по времени, то очевидно для практических массовых вычислений степенные зависимости $f(N)$ недопустимы. Для практических целей необходимы алгоритмы, время работы которых не хуже $O(N \log(N))$.

Показано, что разрешение этой проблемной ситуации следует искать в декомпозиции исходной ГИ на блоки, объем которых позволяет использовать стандартные алгоритмы. В качестве метода декомпозиции предлагается использовать структуру квадродерева. Организация квадродерева базируется на принципе рекурсивного разбиения начальной прямоугольной области на четыре равных прямоугольника. В результате образуется рекурсивное дерево со степенями исхода, кратными четырем. На каждом шаге рекурсии размер прямоугольной области уменьшается в четыре раза и, соответственно, уменьшается число геопространственных объектов, принадлежащих этой области. Рекурсивное разбиение продолжается до тех пор, пока число объектов не уменьшится до величины, которая позволит практически осуществить необходимые вычисления по стандартным алгоритмам.

Приводится рекурсивный алгоритм решения задачи декомпозиции и пример практической реализации и данные о времени вычисления для различных параметров решения. Декомпозиция с необходимостью связана с решением обратной задачи – слияния данных. Описаны рекурсивные алгоритмы решения этой задачи в форме абстрактного автомата.

В третьей главе разработаны методики обработки в СОО НГИ различного назначения: генерализации, пространственного распределения, изолинейного геомоделирования.

Необходимость методики автоматической генерализации НГИ обусловлена, с одной стороны, требованием к адекватности картографической визуализации, а с другой, уменьшением объема ГИ для обработки, хранения и передачи по каналам связи.

Проблема генерализации исследована в отношении к геопространственным полям, линейным и точечным геообъектам.

Рассматриваются геополя, относящиеся к негладким функциям. Для гладких функций, например, приливов, эта процедура излишня.

Математическая модель процедуры картографической генерализации в общей форме представляется в виде отображения F

$$F : \mathfrak{S}_M \rightarrow \mathfrak{S}_{M'},$$

где \mathfrak{S}_M - множество геообъектов тематического слоя в исходном (наиболее крупном) масштабе M , $\mathfrak{S}_{M'}$ - множество геообъектов в масштабе генерализации M' ($M > M'$).

Для конкретизации отображения F используется аналогия с процедурой дискретной агрегации более мелких ячеек, на которые разбита карта, в более крупные ячейки. Результат этой процедуры зависит от величины параметра агрегации, определяющего верхнюю границу для суммарного количества «занятых» подъячеек в агрегирующей ячейке, которое дает в результате агрегации «занятую» ячейку. Используя комбинаторные схемы и технику ренорм-группового анализа, получено модельное математическое уравнение для одного шага процесса генерализации в виде

$$p' = \sum_{k \geq n} \binom{N}{k} p^k q^{(N-k)} = I_p(n, N - n + 1) \quad (1)$$

где $\binom{N}{k}$ - число сочетаний из N элементов по k , $I_p(\bullet)$ - неполная бета-функция. Здесь $p' = F(p)$, p - вероятность нахождения объекта в малой ячейке до агрегации, p' - вероятность отображения объекта в агрегирующей ячейке после агрегации. Обобщенная зависимость (1) (рис. 6) показывает наличие в общем случае нетривиальных неподвижных точек в преобразовании F , которые свидетельствуют о сложности процесса генерализации.

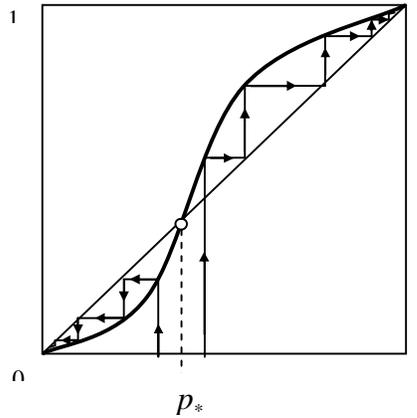


Рис. 6. Последовательность изменения p при итерациях F

Трудность процедуры генерализации F определяется тем, что нетривиальные неподвижные точки являются отталкивающими точками – репеллерами, тривиальные точки - притягивающими точками или аттракторами для последовательности итераций F .

Адекватность модели доказывается тем, что преобразование с параметром, равным значению неподвижной точки, приводит к появлению совокупности геометрических объектов, обладающих самоподобной кластерной структурой. Это соответствует степенному закону распределения длин линейных объектов и отношению площадей объектов к их периметрам, при этом площади объектов остаются практически постоянными. Данные закономерности наблюдаются при экспертном анализе картографической генерализации.

Полученная математическая модель генерализации описывает основные свойства этой картографической операции. На ее основе можно реализовать численную модель имитации генерализации. Для растровых изображений контрастных геопространственных полей, например, для генерализации снимков полей морского льда, полученных с искусственных спутников Земли, данная модель может быть использована в качестве прямого метода генерализации.

Разработан алгоритм автоматической генерализации геообъектов, задаваемых в линейном формате. Линейные объекты представлены упорядоченными наборами

географических координат. Число пар координат в наборе соответствует исходному масштабу карты. При переходе к меньшему масштабу карты необходимо уменьшить соответственно масштабу генерализации число пар географических координат, описывающих объект. Для этого применяется процедура исключения точек, при которой видимая структура извилистости линии или площади должна сохраняться. Процедура, которая удовлетворяет этим требованиям, положена в концепцию упорядочения точек по представительности в формировании графического образа объекта.

Алгоритм генерализации удовлетворяет картографическим требованиям, а именно, сохраняет площадь фигуры и степенную зависимость длины периметра от масштаба.

В общей ситуации, в результате генерализации линейных объектов возможно появление участков самопересечения в контуре объекта. Для редактирования этих особенностей разработана процедура, позволяющая проводить автоматический поиск и правку самопересечений границы полигона. Для этого используется эффективный алгоритм поиска пересечений отрезков, основанный на специальной, абстрактной структуре отрезков.

Представлена разработанная методика автоматической генерализации геообъектов в точечном формате. Задача эксплицируется следующим образом. Задан набор записей S для некоторого слоя информации, каждая из которых имеет числовой атрибут q и индексирована упорядоченным d -плексом «ключей» (x_1, x_2, \dots, x_d) . На таком множестве записей процедуре генерализации соответствует процедура выбора подмножества S' записей, упорядоченных по величине атрибута q и расстоянию между точками.

Разработанный алгоритм использует специальный итеративный метод триангуляции, базирующийся на триангуляции Делоне с учетом приоритетов точечных объектов. Алгоритмы задания приоритетов определяются для разных классов объектов, в том числе и для глубин.

Все алгоритмы генерализации в силу сложности вычислений представляют собой алгоритм предобработки, который создает дополнительную информацию, включаемую в исходный массив данных. Эта дополнительная информация используется на этапе визуализации и пересылки данных по каналам связи.

Разработана методика выбора масштаба карты-основы для картирования климатической НГИ, обеспечивающая определение масштаба карты-основы, согласованного с точностью среднеарифметических значений характеристик, представленных на климатических картах.

В основу способа положено предположение о принадлежности пространственно-временного поля гидрометеорологической характеристики к классу непрерывных гёльдеровских функций. Это позволяет использовать показатель Гёльдера как естественную количественную характеристику пространственно-временной изменчивости поля. С другой стороны, оценка среднего арифметического имеет погрешности, связанные с неравномерностью точек измерения, числом точек наблюдения и пространственно-временной изменчивостью поля. Очевидно, что ошибка в оценке среднего арифметического не должна превышать разности ме-

жду двумя смежными пространственно-временными кубами осреднения. Получены явные выражения, связывающие масштабы кубов осреднения, пространственно-временной изменчивостью поля и числом точек наблюдения.

Результаты геомоделирования по разработанной методике пространственного распределения показывают:

- 1) величина масштаба карты-основы в большей степени определяется распределением положения точек наблюдений, чем изменчивостью гидрометеорологической характеристики;
- 2) приведенные формулы могут использоваться для разработки методики оценки максимально допустимого масштаба карт-основ для построения климатических карт и согласования многослойных тематических карт с климатической информацией в компьютерных технологиях обработки ГИ;
- 3) предложенный способ дает возможность решить задачу определения наиболее «эффективной» сетки для расчета среднего арифметического.

Исследован способ восстановления формы рельефа по дискретным измерениям. Погрешности восстановления рельефа могут привести к необоснованным решениям и, следовательно, к большим потерям в реализации конкретной задачи, поэтому точность восстановления рельефа важна. Однако в существующей практике технология интерполирования не предполагает получение оценок точности. Следовательно, нет возможности упорядочить методы интерполяции по точности восстановления рельефа. Выбор того или иного метода основан на субъективных предпочтениях. Практическая значимость информации о рельефе требует анализа приемлемости методов интерполяции для решения задачи восстановления рельефа.

Формулируется задача о нахождении способа восстановления двумерной функции из класса непрерывных гёльдеровских функций по заданным на нерегулярной сетке измерениям, полученным с известной ошибкой. Разработанный способ решения этой задачи использует интегральные операторы без обращения к процедуре триангуляции. Математической основой методики является преобразование Радона. Если моменты вычислить по исходным точкам измерения, то вычисляемое по ним обратное преобразование Фурье дает искомую поверхность рельефа.

При таком способе восстановления рельефа ошибки измерений не увеличиваются в процессе вычисления моментов, так как применяются интегральные соотношения. Это существенное отличие от традиционных методов интерполяции, которые используют дифференциальные методы. Другая положительная особенность предлагаемого способа состоит в том, что моменты преобразования Радона как функции от направления интегрирования являются однородными тригонометрическими полиномами, что дает возможность построить формальную классификацию морфологических особенностей рельефа с учетом его многомасштабной изменчивости. В существующих методах классификации, основанных на теории дифференциальной геометрии, учет многомасштабной изменчивости рельефа невозможен, так как дифференциальная геометрия имеет дело только с гладкими функциями. В четвертой главе представлена ГИТ управления пространственно распределенными базами ГИ, оценка ее эффективности и рекомендации по использованию в интересах навигационно-гидрографического обеспечения деятельности флота (рис. 7).

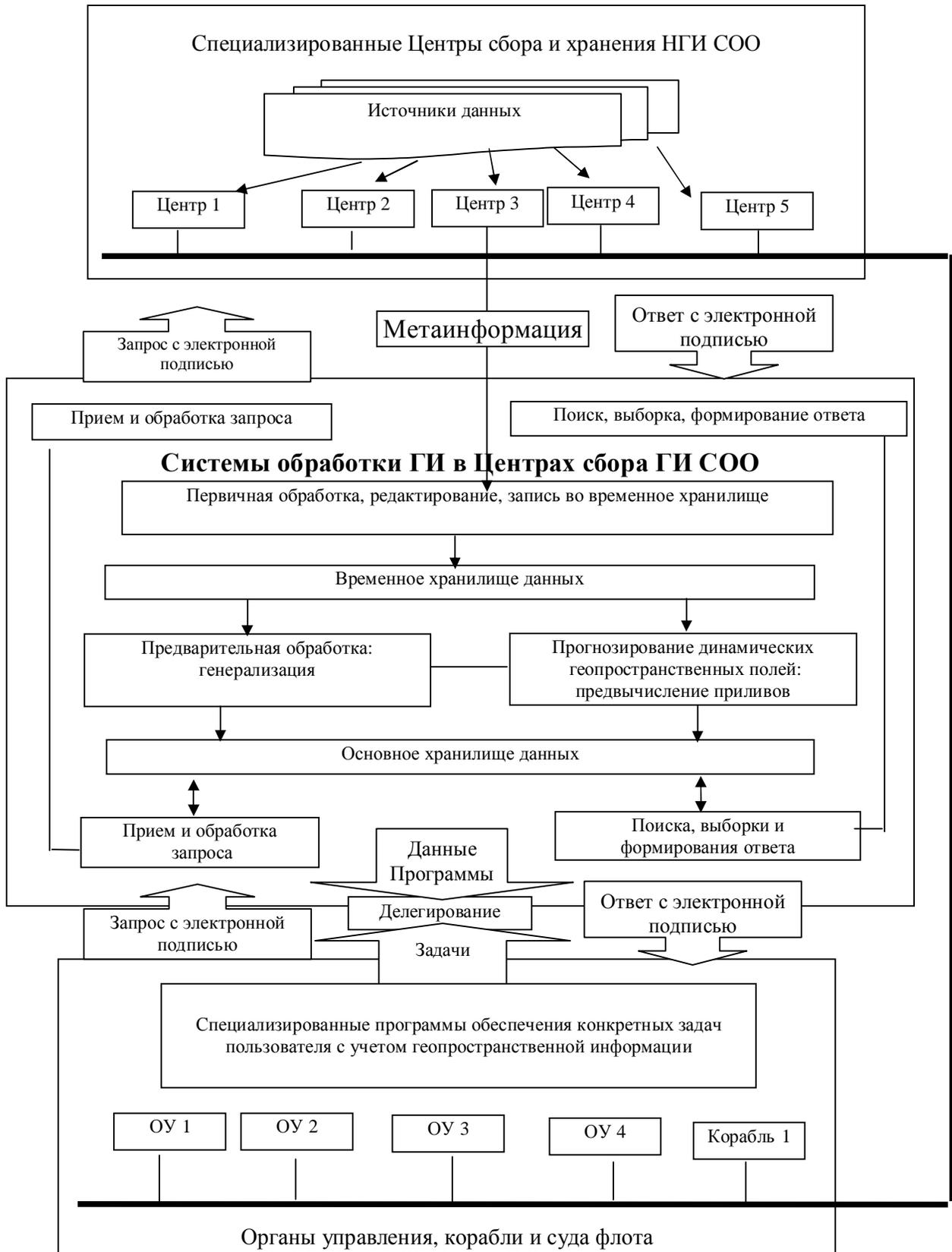


Рис. 7. Методика управления пространственно распределенными базами ГИ в СОО для навигационно-гидрографического обеспечения флота

В основу разработки технологии положены требования флота к СОО по обеспе-

чению ГИ: 1) релевантность обеспечения ГИ, т.е. обеспечение соответствия между информационным запросом и получаемым сообщением, а именно: согласованность по точности и детализации в масштабе, соответствующем уровню принятия решения; оперативность формирования наборов данных с необходимой и достаточной геопространственной информацией для обеспечения конкретного принятия решения на заданную пространственную область; адекватность структуры графических объектов при визуализации на экране монитора и пространственно-временной структуры естественных геопространственных полей; 2) обеспечение удаленного доступа; 3) экономичность.

Структура технологии предполагает оперирование большим объемом распределенной информации для организации оперативного обеспечения удаленного пользователя с учетом ограничений со стороны вычислительных ресурсов и принятых сетевых программных технологий, накладываемых компьютерными системами.

Необходимость высокоскоростного доступа к информации на внешнем носителе требует учитывать линейную физическую структуру записи на внешних носителях информации при организации структуры хранения.

Требование релевантности может быть обеспечено только автоматизированной процедурой генерализации, сокращения размерности ГИ.

Процедура генерализации требует существенных затрат на ее выполнение. Это обстоятельство требует организовать технологический процесс, состоящий из этапа предобработки и этапа оперативного обеспечения.

Оценка эффективности полученных результатов осуществлялась по следующим основным направлениям: 1) по наличию теоретической обоснованности алгоритма функционирования; 2) по затратам ресурсов на достижение определенной цели функционирования.

В качестве критериев качества метода используются: оперативность – затраты времени на выполнение запроса; релевантность – смысловое соответствие между геоинформационным запросом и полученным сообщением; гибкость – способность включать в систему обработки новые виды ГИ; мощность – объем ГИ, поддерживаемый методикой; экономичность – финансовые затраты на обработку запроса.

Все эти критериям разработанная методика удовлетворяет в отличие от существующих ГИС-технологий. Например, наличие системы генерализации и специальной системы хранения, поиска и выбора определяет, что время ответа на запрос и объем передаваемой пользователю информации не зависит от размера запрашиваемой области. В ГИС-технологиях время ответа на запрос и объем передаваемой пользователю информации пропорциональны размеру запрашиваемой области (рис. 8).

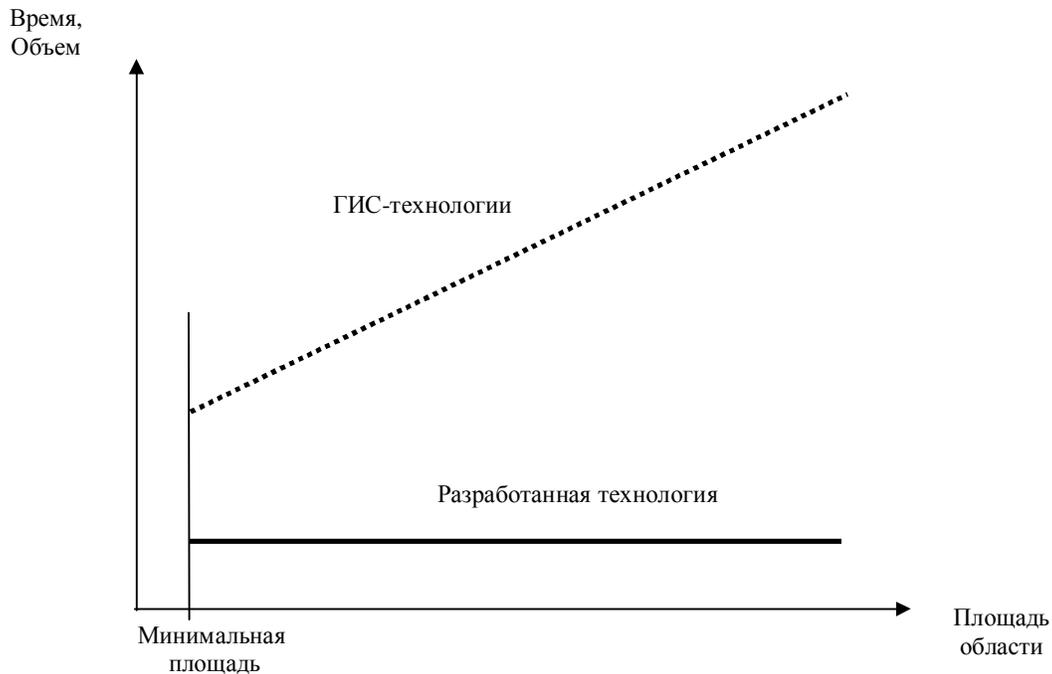


Рис. 8. Затраты времени ответа на запрос и объема передаваемой ГИ для различных размеров запрашиваемой области

Внедрение технологии позволяет: обеспечить различные уровни управления флота ГИ, согласованной по точности и детализации в масштабе, соответствующем уровню управления; оперативно формировать наборы с необходимой и достаточной ГИ для обеспечения конкретного принятия решения на заданную пространственную область; обеспечить удаленных в пространстве потребителей, участвующих в решении одной задачи, согласованной ГИ; обеспечить адекватность структуры графических объектов при визуализации на экране монитора пространственно-временной структуре естественных геопространственных полей; согласовать разнородную и разноточную ГИ; - обеспечить ГИ новых видов, поступающей от новых технических средств наблюдения СОО.

Выводы

В результате выполненных в диссертации исследований теоретически обоснованы и разработаны геоинформационные модели и методы по управлению ГИ, совокупность которых образует в СОО ГИТ обеспечения геопространственной информацией в интересах навигационно-гидрографического обеспечения флота. В ходе выполненных исследований получены следующие основные научные результаты:

1. Разработаны методики и модели получения, обработки, транспортировки и хранения ГИ в СОО флота.

2. Разработана методика управления пространственно распределенными базами ГИ, позволяющая повысить оперативность, согласованность и точность обеспечения СОО флота релевантной ГИ на основе использования ЭВТ.

3. Разработаны практические рекомендации по использованию в СОО методик в интересах навигационно-гидрографического обеспечения флота, позволяющие внедрить полученные результаты в органах управления, на кораблях и судах флота и в государственных информационных системах картографической и гидрометеорологической информации.

Достоверность результатов работы подтверждаются: полнотой и обстоятельностью анализа современного состояния исследований; корректностью выбора исходных допущений и ограничений при постановке математических моделей; адекватностью используемых математических моделей исследуемым геопропространственным процессам; строгостью используемого современного математического аппарата при формализации исследуемой проблемы и ее решения.

В результате оценок эффективности внедрения полученных научных результатов достигается:

1. Увеличение оперативности навигационно-гидрографического обеспечения флота за счет минимизации времени ответа на любой запрос к удаленным пространственно распределенным базам ГИ СОО до 5 секунд.
2. Увеличение экономичности навигационно-гидрографического обеспечения флота за счет минимизации объема пересылаемой потребителю ГИ на любой запрос к удаленным пространственно распределенным базам ГИ до 1 Мб.
3. Повышение точности навигационно-гидрографического обеспечения ВМФ за счет решения любой задачи на основе базы ГИ максимального крупного масштаба.
4. Обеспечение релевантности навигационно-гидрографического обеспечения флота за счет использования единой пространственно распределенной базы геоданных.
5. Обеспечение адекватности структуры графических объектов геопропространственных полей при визуализации на экране монитора за счет применения автоматической генерализации.

Публикации автора по теме диссертации

- I. В изданиях из рекомендованного ВАК перечня:
 1. Формальная модель генерализации естественных геопропространственных полей // Записки по гидрографии. - 2005. - №264. - 23-29.
 2. Методические вопросы создания технологий цифровой обработки геопропространственной информации для обеспечения деятельности флота // Записки по гидрографии. - 2006. - №267. - 42-44.
 3. Обоснование требований к системам представления геопропространственной информации в автоматизированных рабочих местах пунктов управления ракетно-артиллерийским вооружением. // Записки по гидрографии. - 2006. - №267. - 34 -39.

II. В остальных изданиях:

4. Моделирование и представление полей распределённых контрольно-сигнализационных устройств в задачах оценки и классификации территориальной обстановки // Труды 15-ой межвузовской НТК «Военная радиоэлектроника: опыт использования и проблемы подготовки специалистов». – Петродворец: Изд-во ВМИРЭ, 2004,- С. 56-57.
5. Выявление морфологических элементов в поле рельефа дна. // Навигация и гидрография. – 2002. - №14. - 150-154.
6. Искажения структурных особенностей полей гидрометеорологических характеристик при их визуализации в электронных геоинформационных системах. // Навигация и гидрография. – 2002 - №14. - 167-176.
7. Геомоделирование территориальной обстановки в системе наблюдения гидрографической службы // Навигация и гидрография – 2004, № 8, – С. 29–33. (соавтор Биденко С.И.)
8. Обоснование масштаба карты-основы для картирования климатической информации. // Навигация и гидрография. - 2004. - №18. -. 136-143.
9. Определение формы рельефа по данным дискретных измерений. // Навигация и гидрография. - 2004. - №19. - 66-70.
10. Способ генерализации точечных объектов в ГИС. // Навигация и гидрография. - 2004. - №19. - 132-139.
11. Способ оценки близости положения изолиний. // Навигация и гидрография. - 2003. - № 15. - 101-106.
12. Элементы синергетики в описании гидрометеорологических процессов. – СПб: ВМИ, 1999. - 52 с. (совместно с О. Ю. Корневым).
13. Пространственная модель представления территориальной ситуации в системе освещения обстановки в ближней и средней зонах // Политехника, № 6, 2005,- С. 23–29. (соавторы Биденко С.И., Самотонин Д.Н.)
14. Геоинформационный метод отображения и оценки обстановки в интересах управления сложными территориальными объектами // Труды научно-технич. конф. ГМА им. адм. С.О. Макарова, СПб: Изд-во ГМА, 2006,- С. 112–114.