

На правах рукописи

ЛЕМЕНКОВА Полина Алексеевна

**ПРИНЦИПЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ
(На примере Баренцева моря)**

25.00.33. – Картография

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва – 2007

Работа выполнена на кафедре картографии и геоинформатики
географического факультета Московского государственного университета
им М. В. Ломоносова

Научный руководитель доктор географических наук, профессор
Лурье И.К.

Официальные оппоненты доктор географических наук, профессор

Ведущая организация Институт Океанологии
им. П.П. Ширшова
РАН

Защита состоится «___» ___мая___ 2007 г. на заседании диссертационного совета по
геоморфологии и эволюционной географии, гляциологии и криолитологии Земли,
картографии, геоинформатике (Д-501.001.61) в Московском государственном
университете им М. В. Ломоносова по адресу: 119899, Москва, ГСП-2, Ленинские Горы,
МГУ, географический факультет, аудитория 2109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке географического
факультета МГУ на 21 этаже географического факультета МГУ по адресу:
119899, Москва, Ленинские Горы, Главное здание МГУ, географический
факультет.

Автореферат разослан «___» ___апреля___ 2007 г.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенные печатью) просим
отправлять по адресу 119899, Москва, ГСП-2, Ленинские Горы, МГУ,
географический факультет.

Факс: (095) 939-38-01. e-mail: geogco@geogrmsu.su

Ученый секретарь
диссертационного совета,
профессор

Ю.Ф. Книжников

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Актуальность темы обусловлена необходимостью разработки принципов геоинформационного картографирования морей Арктического бассейна для исследования геоэкологического состояния акваторий, закономерностей динамики их изменения под воздействием антропогенного давления.

Регион Северного Ледовитого океана характеризуется уникальными природно-климатическими условиями, определяющимися его приполярным положением, богатым разнообразием биологических ресурсов и сложным гидрологическим режимом, формирующимся при взаимодействии атлантических и арктических водных масс. Арктические моря подвержены негативному воздействию человека, последствия которого наносят ущерб окружающей среде морских экосистем в большей степени, по сравнению с южными акваториями, т.к. в результате низких темпов химических и биохимических процессов даже незначительные превышения ПДК загрязняющих веществ приводят к экологической нестабильности региона вплоть до необратимых последствий.

При составлении геоэкологических карт арктических морей необходимо использование комплексного географо-экологического подхода, при котором морские акватории бассейна рассматриваются как единые гидродинамические системы, неразрывно связанные с природой прибрежных территорий и водосборных бассейнов, их гидроклиматическими особенностями и экологическим состоянием. В связи с этим исследование проводится на стыке нескольких научных дисциплин, в том числе морской геологии, геоморфологии, гляциологии, геоинформатики, картографии, океанологии, метеорологии, гидрологии, биогеографии и других.

Использование геоинформационных технологий наиболее эффективно при решении задач анализа степени антропогенного воздействия на состояние морских экосистем, оценки экологической стабильности морских акваторий и комплексного геоэкологического районирования бассейна, позволяющего отразить закономерности распределения глобального загрязнения Арктического бассейна. Комплексное геоинформационное картографирование проводится на примере исследования Арктических морей и является актуальной задачей.

Цель и задачи исследования

Цель диссертационного исследования состоит в разработке теоретических принципов и практических методов комплексного геоинформационного картографирования экологического состояния Арктических морей, а также апробации разработанной методики на примере создания серии геоэкологических карт Арктического бассейна, Баренцева и Печорского морей.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

- разработать принципы анализа, интеграции, обобщения и сбора данных на акватории морей Арктического бассейна (фактографических, статистических, картографических, литературных), проанализировать их достоверность и пригодность для использования при геоэкологическом картографировании;
- проанализировать и обобщить разработанные методики геоэкологического картографирования Арктических морей и существующий опыт их применения;
- сформулировать теоретические принципы геоинформационного картографирования экологического состояния Арктических морей;
- провести комплексный анализ состояния природной среды морских арктических экосистем, а также факторов их загрязнения и закономерностей распределения загрязняющих веществ в пределах акваторий;
- разработать методику геоинформационного картографирования экологического состояния Арктического бассейна
- апробировать разработанную методику на примере создания серии геоэкологических карт Арктического бассейна, Баренцева и Печорского морей.

Методика исследования, разработанная в диссертационном проекте, опирается на теоретические и методологические принципы геоинформационного, геоэкологического и тематического картографирования, изложенные в работах К.А.Салищева, А.М.Берлянта, Краснова Е.В., Новаковского Б.А., Лурье И.К., Чумаченко А.Н., Гурьяновой Е.Ф. и других авторов.

Комплексное геоэкологическое районирование Арктического бассейна, проведенное с использованием геоинформационных технологий на основе

картографических, статистических и литературных материалов, использует методы географического анализа информации и математического моделирования и базируется на теоретических принципах общего географического районирования, разработанных в трудах Исаченко А. Г., Михайлова Н. И, Милькова Ф. Н.

На основе разработанной методики был осуществлен процесс составления геоэкологических карт Арктического бассейна на трех ранговых уровнях экосистем Арктического бассейна: Северного Ледовитого океана, Баренцева и Печорского морей, что свидетельствует об универсальности разработанной методики и ее применимости при картографировании арктических экосистем различного масштабного уровня.

В процессе работы над диссертационным проектом были осуществлены все этапы геоинформационного картографирования, включая сбор и интеграцию тематических данных на территорию Арктического бассейна, создание банка данных и фонда картографических материалов, разработку методики геоинформационного картографирования Арктических морей, составление карт геоэкологического районирования Арктического бассейна и его отдельных акваторий.

Научная новизна

Научная новизна диссертации заключается в следующих положениях: разработка методики комплексного геоинформационного картографирования экологического состояния Арктических морей, включая создание принципиальной схемы интеграции данных в проекте для создания геоэкологических карт и научное обоснование тематики геоэкологических карт; апробация разработанной методики на примере создания серии геоэкологических карт Арктических морей, включающих аналитические карты отдельных аспектов экологического состояния морей, синтетические карты комплексного экологического состояния акваторий и итоговые карты геоэкологического районирования бассейна.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в разработке методики геоинформационного картографирования экологического состояния Арктических морей. Предложенная методика предназначена для использования при составлении геоэкологических карт в организациях природоохранного характера, занимающихся мониторингом Арктических экосистем и осуществлением контроля состояния окружающей среды северных регионов.

Серия геоэкологических карт, составленная по разработанной методике, может быть использована для решения задач экологического мониторинга Арктических морей:

оценка уровня и характера техногенного воздействия на арктические экосистемы, пространственный анализ и моделирование динамики морских экосистем в зонах интенсивного антропогенного воздействия, разработка сценариев их поведения при составлении экологических прогнозов.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения (188 страниц машинописного текста), приложений, серии составленных экологических карт Арктических морей и карт геоэкологического районирования Арктического бассейна, списка использованных литературных источников (библиография включает 140 наименований). Работа содержит 25 карт, иллюстраций, таблиц.

Работа выполнена на кафедре картографии и геоинформатики географического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова под руководством профессора кафедры д.г.н. И.К. Лурье, которой автор выражает глубокую благодарность. Автор искренне признателен и благодарен ведущему научному сотруднику кафедры к.г.н. И.А.Суетовой за многолетнюю совместную творческую деятельность, научные консультации и ценные критические замечания, оказанные при написании различных разделов рукописи и в процессе составления карт, а также за предоставленные материалы для работы. Автор благодарит проф. Н.А.Айбулатова за оказанные научные консультации, старшего научного сотрудника кафедры, к.г.н. Л.А.Ушакову за помощь на различных этапах работы. Автор признателен сотрудникам кафедры картографии и геоинформатики и Центра геоинформационных технологий при кафедре за поддержку, содействие и помощь в процессе написания диссертации.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на Международной картографической конференции (ICC2005 International Cartographic Conference), проходившей в Ла-Коруна (Испания), в 2005г. Опубликованы научные статьи по теме диссертации в журнале «География и природные ресурсы», №4, 2005.

Основные научные результаты изложены в рекомендованных ВАК журналах:

1. Геоинформационное картографирование Баренцева и Печорского морей // География и природные ресурсы. – 2005.-№4. – с.138-143 (в соавторстве с Суетовой И.А., Ушаковой Л.А.)
2. Леменкова П.А. Геоинформационное картографирование Баренцева и Печорского морей. Доклад на студенческой научной конференции «Ломоносов-2003», март 2003, Москва, МГУ им. М.В.Ломоносова, географический факультет.
3. Международная Картографическая конференция Интеркарто-2005 (International Cartographic Conference-2005) // Suetova I.A., Ushakova L.A., Lemenkova P.A.

'Geoecological mapping of the Barents Sea using GIS',
http://www.creaf.uab.es/MiraMon/new_note/cat/news/icc2005/ICC2005-oral.pdf theme
5 'Digital Cartography and GIS for sustainable development of territories', session
4, 'Land management(3)').

4. Gohl, K., Eagles, G., Udintsev, G., Larter, R. D., Uenzelmann-Neben, G., Schenke, H. -W., Lemenkova, P., Grobys, J., Parsiegl, N., Schlueter, P., Deen., T., Kuhn, G., Hillenbrand, C. -D. [2006] 'Tectonic and sedimentary processes of the West Antarctic margin of the Amundsen Sea embayment and Pine Island Bay'.
http://web.awi-bremerhaven.de/Publications/Goh2006b_abstract.html

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Современное картографирование арктических экосистем: состояние и перспективы

Главной целью геоинформационного картографирования Арктического бассейна, характеризующегося уникальными природно-климатическими условиями и сложным гидрологическим режимом, является картографо-информационное обеспечение экологического и природоохранного мониторинга Арктических экосистем для осуществлением контроля состояния окружающей среды северных регионов.

Комплексное геоэкологическое картографирование уникальной гидродинамической системы Северного Ледовитого океана возможно лишь на основе системного эколого-географического принципа, что реализуемо лишь с использованием геоинформационных методов, позволяющих не только изучать особенности отдельных компонентов геосистем и давать оценку уровня и характера техногенного воздействия на арктические экосистемы, но также и производить пространственный анализ и моделирование динамики морских экосистем в зонах интенсивного антропогенного воздействия, рассматривать экологическое состояние Арктического бассейна в целом. Поэтому при составлении геоэкологических карт в едином геоинформационном проекте акватории Арктических морей рассматриваются как единые целостные системы, неразрывно связанные с природой территорий водосборных бассейнов, гидроклиматическими особенностями и экологическим состоянием прибрежных территорий. Для экологического мониторинга Арктики в современных условиях большое значение имеет создание серии геоэкологических карт включающей аналитические, комплексные, прогнозные, рекомендательные (предназначенных для перспективного планирования в целях экологического мониторинга), синтетические (характеризующих суммарное, итоговое антропогенное воздействие на экосистемы). Их разработка и составление на основе ГИС Arc GIS 9.1 ориентированы на комплексное использование тематической информации, интегрированной в едином проекте, и предполагает их использование в

работе экологических и мониторинговых служб и предприятий природоохранного характера. Таким образом, применение геоинформационных методов при решении задач геоэкологического исследования является перспективным и обоснованным научным подходом, обеспечивающим экологический мониторинг морских и прибрежных экосистем Арктического бассейна.

Проблема разработки принципов геоинформационного картографирования арктических экосистем многогранна, т.к. для ее решения проводится формализация и разработка универсальных принципов картографирования сложных уникальных экосистем Арктического бассейна, что требует комплексного анализа всей доступной тематической информации по региону. При этом осложняет задачу выбор объекта исследования: картографирование морских акваторий всегда представляет собой задачу гораздо более сложную, чем территорий и наземных геосистем, т.к. требует исследования их сложного гидрологического режима, гидроклиматических и гидрохимических особенностей, только при анализе которых в принципе возможно изучение морского бассейна как единой экосистемы, тем более учитывая глобальный масштаб Арктического региона. Решение этой актуальной задачи требует использования знаний из различных научных областей и проводится на стыке различных научных дисциплин: океанологии, гидрологии, геологии, морской геоморфологии, метеорологии, картографии, геоинформатики и многих других.

Особенностью современного этапа в картографировании Арктического бассейна является наличие всевозможных тематических карт отдельных аспектов экологии Арктики и отдельных ее акваторий при полном отсутствии системы универсальных принципов геоинформационного картографирования Арктического региона и, как следствие, фундаментальных работ по комплексному геоэкологическому картографированию арктических экосистем. Выполнение этой задачи требует разработки универсальной методики картографирования региона с учетом всех природно-экологических особенностей, а также систематизации и тщательного анализа всех доступных тематических материалов по экологическому состоянию акваторий на данный момент. В настоящее время в разных организациях по изучению Арктического региона существуют многочисленные материалы и экспедиционные океанографические данные, которые зачастую разрознены, несопоставимы и требуют тщательного анализа на их достоверность, т.к. разнопорядковость и разновременность данных не может обеспечить их правильный совместный анализ и привести к адекватным выводам. В силу этого, одной из основных задач геоинформационного картографирования Арктики является анализ метаданных всей используемой информации для оценки их пригодности в

процессе совместного использования, систематизация исходных материалов в банке данных и фонде картографических материалов и их интеграция в едином проекте для последующего картографирования, пространственно-временного анализа и моделирования экосистем.

Вопросы геоинформационного картографирования, как фундаментальные его проблемы, так и отдельные аспекты его использования, в т.ч. в геоэкологических исследованиях и картографировании морских акваторий, рассматривались в работах различных специалистов (Касимов Н.С., Новаковский Б.А., Лурье И.К., Гуревич В.И., Авенариус И.Г., Айбулатов Н.А., Берлянт А.М., Суетова И.А., Ушакова Л.А., Барина Г.М., Краснов Е.В., Bedford, M., Herbert W., и др.), однако принципиальные вопросы геоинформационного картографирования применительно к Арктическим экосистемам остаются нерешенными. Развитию геоинформационного картографирования экологии арктического бассейна способствует, с одной стороны, большое разнообразие источников информации различного типа (картографические, статистические, литературные, фактографические, как в электронном, так и в традиционном виде), и, с другой стороны, постоянное совершенствование геоинформационных методов, модернизация ГИС-программ, выпуск новых модулей для обработки геоизображений, в т.ч. в виде обновленных версий известных программ (Arc GIS 9.1, Arc View3.2a), развитие интернет-картографирования.

В настоящее время геоэкологическое картографирование арктических морей характеризуется разнообразием принципов картографирования, методов составления карт, особенностей их оформления и изображения, подходов к составлению легенд и т.д. Одновременно, несмотря на значительный опыт геоинформационного картографирования, на сегодняшний день отсутствуют единые универсальные принципы геоинформационного картографирования Арктических морей, не разработана унифицированная методика составления геоэкологических карт и стандартизация легенд. Многие методики базируются на различных подходах к выделению основных элементов геоэкологических карт морских акваторий - гидрогеологического районирования, геохимических полей, типов ландшафтов, геологических, инженерно-геологических, геоморфологических, геоботанических, природно-территориальных и других комплексов. До сих пор существуют самые разные подходы к содержанию карт и степени детальности, к которой необходимо стремиться при картографировании. В значительной степени все они унаследовали пути развития геоэкологических исследований и картографирования с конца 70-х г.г., когда направление начало сформировываться на стыке нескольких географических наук. Таким образом, несмотря на более чем 20-

летнюю историю развития, геоэкологического картографирования морей, включая картографирование на основе геоинформационных технологий в последние годы, вопрос о стандартизации его принципов и методов остается открытым. Поэтому целью настоящего исследования является, прежде всего, разработка универсальных принципов геоинформационного картографирования акваторий Арктического бассейна, учитывая уже имеющиеся теоретические исследования и опыт работ в данной области.

Глава 2. Методика исследования

Методологическое обоснование геоинформационного картографирования Арктических морей в целях экологического мониторинга заключается в следующем. Геоэкологические карты Арктических морей представляют собой графические изображения акваторий бассейна, в составе которых выделяются компоненты двух фундаментальных аспектов: физико-географических характеристик акваторий и их экологического состояния. Поэтому в процессе картографирования используется интегральная оценка состояния акваторий, для чего необходимо детальное изучение географических и экологических характеристик морских экосистем в комплексе. При этом роль ключевого инструмента при разработке серии тематических карт выполняют технологии геоинформационного программного обеспечения Arc GIS 9.1, на базе которого полностью разработан диссертационный проект. Предлагаемая в настоящем исследовании методика геоинформационного картографирования морских экосистем, основана состоит из следующих этапов.

I. На начальном этапе исследования формируются критерии и принципы отбора основной и дополнительной тематической информации и осуществляется интеграция всех доступных материалов, отобранных по заданным критериям, для формирования иерархической структуры базы геоданных объекта исследования – морей Арктического бассейна. Основные критерии к отбору данных для картографирования включают следующие положения: 1) территориальный охват Арктического бассейна с более детальным обзором отдельных его регионов (Баренцево и Печорское моря) 2) необходимая детальность информации, достаточная для масштаба 1:6.000.000 и крупнее, с соблюдением принципа кратности масштабного ряда 3) современность и актуальность: для всех экологических данных используется временной охват 1965-1985-2005 г.г.; для отдельных данных (химическое загрязнение) используется временной ряд с интервалом каждые 10 лет 4) соответствие установленным векторным, табличным и растровым форматам: dxf, shp, mxd, jpeg, bmp, tiff, xls.

При интеграции исходных данных в базе геоданных Арктического бассейна на этапе его создания решаются следующие задачи:

- разработка структуры базы геоданных в Arc Catalog
- анализ метаданных, описывающих характеристики исходного материала, для оценки достоверности данных, их пригодности и точности
- регистрация и запись отобранных данных, включаемых в проект
- проверка взаимной согласованности отобранных данных, включаемых в проект, их логический и синтаксический контроль
- унификация данных, т.е. приведение данных в адекватные форматы и при необходимости их редактирование в рабочем проекте
- составление схемы изученности района, анализ наличия данных на отдельные регионы и акватории Арктического бассейна
- пространственная и временная привязка данных с использованием модуля Georeferencing.

Разработка структуры организации исходных материалов, регистрация и запись их метаданных осуществляются по установленному шаблону в каталоге специального модуля Arc GIS 9.1 - Arc Catalog, где создается электронная база геоданных на основе интеграции разнородной тематической информации о состоянии, взаимосвязях и динамике компонентов природной среды Арктического бассейна и основных источниках антропогенного воздействия. сохраняя топологию и взаимосвязи объектов базы. При этом соблюдается логико-иерархический структурный принцип библиотеки: геоданные распределены по классам объектов с поддержкой топологии в покрытиях и логико-пространственных отношений между ними. В базе геоданных Арктического бассейна создаются следующие классы пространственных объектов: 1) набор растровых данных, где содержатся в основном отсканированные карты с тематическими данными за указанные периоды времени 2) класс точечных пространственных объектов, содержащий статистическую информацию из результатов экспедиционных океанографических исследований с координатами точек отбора проб воды 3) класс линейных пространственных объектов, включающий в основном, географические объекты, имеющие характер линейного протяжения 4) класс полигональных пространственных объектов, включающий данные, отображающие как распространение географических объектов и явлений, так и ареалы распределения загрязняющих веществ в пределах акватории 5) файл системы координат, содержащий описание математической основы карт 6) набор классов объектов, содержащий собрание всех классов и отношений объектов, использующих выбранную систему координат.

Метаданные всех объектов в базе геоданных проекта включают в себя следующую информацию:

- Строго организованную, форматированную информацию о геоинформационных, статистических и картографических ресурсах, включая их имена, свойства, форматы, адреса хранения
- описания массивов и баз фактографических данных, их состава и структуры, включающие материалы наблюдений за объектами, а также результаты их обработки и обобщения по следующим разделам:
 1. атмосфера (приземная метеорология и климатические данные)
 2. гидросфера (гидрологии моря, гидрология устьев рек Арктического бассейна)
 3. литосфера (геология, геофизика, литодинамика, геоморфология)
 4. биосфера (биология и растительность моря, устьев рек, береговых зон)
 5. техносфера (уровень хозяйственного использования, антропогенные характеристики)
- сведения об источниках океанографических данных (мореведческих организациях, станциях, постах, судах, рейсах, экспедициях)
- сведения о наблюдательных сетях, проектах, программах
- сведения об алгоритмах, моделях, программных средствах, где были созданы используемые карты

Географический информационный блок базы данных составляет информация об основных компонентах природной среды, формирующих ландшафтные подразделения морских акваторий, выделяющиеся по комплексу идентичных типологических признаков и включающие следующие элементы: геолого-геоморфологическая характеристика акваторий (батиметрия рельефа дна, характер и типы почвогрунтов, литологический состав осадков, и т.д.), основные гидрологические и океанологические характеристики отдельных акваторий (соленость и температура вод, направления течений по акваториям, и т.д.), климатологические характеристики акваторий (доминирующие направления ветров, температуры воздуха), гляциологические (границы криолитозоны и распространения многолетнемерзлых пород и др.) и биологические (ареалы обитания биоты, видовое распространение зообентоса, планктона и др.). В совокупности они образуют фоновую ландшафтную основу геоэкологической карты, с которой коррелируются экологические тематические слои карт. Данные, формирующие географический информационный блок базы данных, используются из картографических

источников, подробно перечисленных в *Приложении I*, в результате их обработки и анализа, переноса и оцифровки необходимых контуров с растровых отсканированных карт, географически привязанных в нужной координатной системе. Важнейшим условием разработки серии геоэкологических карт является взаимная согласованность тематических карт-источников, поэтому при формировании картографического фонда данных в первую очередь соблюдаются принципы увязки элементов содержания тематических карт. Главным условием согласования карт разных типов и источников являются единая математическая основа карт (проекция, единая координатная привязка данных), единые принципы их составления и генерализации и одинаковая детальность легенд. Геоинформационные технологии обеспечивают алгоритмы преобразования систем координат и проекций, что значительно облегчает процедуры согласования, при этом используются метаданные о привязке карты-источника, ее проекции и других элементах математического содержания.

К блоку экологической информации в базе данных относятся опубликованные статистические данные из океанографических экспедиций, содержащие данные об уровне, характере и пространственном распределении загрязняющих веществ в пределах акваторий океана, включающие, прежде всего, химическое загрязнение тяжелыми металлами (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), нефтяными углеводородами, радиоактивными элементами (^{137}Cs , ^{60}Co , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{90}Sr), пестицидами и хлорорганическими соединениями ($\Sigma\text{ДДТ}$, ГХБ, $\Sigma\text{ГХЦГ}$, $\Sigma\text{ПХБ}$). Экологические фактографические данные представляются в виде атрибутивной информации о свойствах объектов в узлах регулярной координатной сетки (т.е. данные измерений концентраций химических веществ в пробах вод). Масштабы пространственно-временного осреднения (обобщения) различны во всех трех проектах – Арктического бассейна, Баренцева и Печорского морей - в зависимости от наличия данных, изменчивости параметров, рассматриваемого района. На основе фактографических данных осуществляется построение TIN-моделей и полей распределения вещества и химических элементов в пределах акваторий.

Интеграция данных охватывает, таким образом, все различные имеющиеся источники с их пространственно-временной привязкой и выходными характеристиками, разнородные по территориальному охвату, достоверности, точности и содержанию, которые сводятся в единую систему и представляются в табличном виде в базе геоданных Арктического бассейна. Объединение в банке геоданных информации из географических экологических подсистем с сопоставлением различных тематических карт, отражающих природное состояние экосистем, и распределение концентраций загрязняющих веществ в пределах бассейна, позволяет дать объективную оценку комплексной техногенной

нагрузки на отдельные акватории Арктического бассейна. Совместное использование тематических данных на основе изучения природных условий Арктического региона с учетом способности природных систем отдельных акваторий к самовосстановлению позволяет выделять регионы повышенного риска и территориально дифференцировать факторы антропогенной нагрузки.

II. На информационно-аналитическом этапе разработанной методики осуществляется анализ и обработка геоданных для получения знаний о закономерностях и взаимоотношениях в географических объектах, а также получения новой информации на основе сделанных выводов. Составление тематических карт начинается с изготовления подробной векторной географической основы, на которой приводится подробная батиметрическая карта изучаемого региона. Для географической привязки растровых карт и установки проекции используется модуль геокодирования данных (Georeferencing). На подготовленную основу в последующем наносятся векторные тематические слои с географической информацией, перенесенной с отсканированных растровых тематических карт.

Для построения геоэкологических карт в процессе геоинформационного картографирования используются методы анализа пространственной информации и математического моделирования для определения характера, источников и пространственного распределения загрязнений в пределах исследуемых акваторий, среди которых отметим следующие.

Метод классификации используется при создании блока карт оценки экологического состояния отдельных морей, где акватории ранжированы на 7 классов по степени возрастания техногенного воздействия. Для классификации использован метод естественных границ (natural breaks), поскольку данные имеют в основном неравномерное распределение в пределах Арктического бассейна. При составлении карт на акваторию Баренцева и Печорского морей используется метод квантилей (quantile), т.к. в данном случае области экологических районов имеют сравнимые размеры, что обуславливает выбор метода.

Для картографирования динамики загрязнений Арктического бассейна за различные даты используется метод картирования изменений экологических условий и создается галерея временного ряда карт загрязнения Арктического бассейна нефтяными углеводородами, радиоактивными элементами и химического загрязнения тяжелыми металлами за период 1965-1985-2005 г.г., которые можно использовать для прогнозирования и мониторинга Арктических экосистем. При этом данные о загрязнении

акваторий химическими веществами приводятся с пятилетним интервалом (1985-1990-1995-... и т.д.), для отражения радиоактивного загрязнения ключевыми являются даты с 1965 (интенсивные испытания ядерного оружия) по 2005 г.г. с наиболее характерными десятилетними интервалами. Составление карт динамики дает возможность анализа вероятного развития процессов в дальнейшем для оценки степени их воздействия при условии сохранения уровня и характера антропогенной нагрузки.

При составлении инвентаризационных карт отдельных экологических характеристик используется метод ранжирования объектов по масштабированным символам в зависимости от объема выбросов загрязняющих веществ. Инвентаризационные карты отличаются высоким уровнем обобщения и обработки тематической информации, включающей для каждого выдела акватории ряд ландшафтных и экологических показателей: геолого-геоморфологическую приуроченность, особенности гидролого-океанологического режима, генезис и литологическое строение поверхностных отложений, климатические характеристики экосистемы, оценку направления хозяйственного использования и уровень антропогенного давления. Они являются научной основой для составления оценочных, карт оценки экологического состояния морских акваторий и карт геоэкологического районирования. Создание подобных карт базируется на основе глубокого анализа и синтеза обширного тематического материала, организованного в базе геоданных.

Важной частью анализа экологического состояния морских Арктических экосистем является метод ландшафтно-геохимического анализа, применяющийся при оценке взаимосвязей географических характеристик района и его экологического состояния, а также выявления кризисных экологических ситуаций. В частности, изучение характера распределения загрязнителей с повышенными значениями концентраций в пределах отдельных ключевых участков акваторий выявило следующие закономерности: наиболее повышенные значения загрязнения приурочены к пониженным участкам подводного рельефа с преобладающим типом глинистых и алеврито-глинистых типов грунтов и донных осадков с тонкодисперсной фракцией и характеризующихся повышенной аккумуляцией загрязняющих веществ. Кроме того, наблюдается отчетливая корреляция распространения шлейфа загрязняющих веществ вдоль направления доминирующих течений даже вдали от непосредственного очага загрязнения благодаря их переносу с течениями вод.

III. На этапе геоэкологического районирования акваторий Арктического бассейна осуществляется пространственное дифференцирование акваторий на основе системного

метода. При этом выделяется система обособленных аквальных регионов в пределах Арктического бассейна, обладающих внутренним единством, индивидуальной спецификой уникальных природных особенностей и идентичным уровнем испытываемой техногенной нагрузки. В процессе их выявления осуществляется географо-экологический синтез и систематизация информации об Арктическом регионе в целом и его отдельных аквальных комплексов как частей региона. На основе проведенной систематизации проводится геоэкологическое районирование Арктического бассейна по комплексу признаков, охватывающих все компоненты природной среды (физико-географическое и экологическое районирование), являясь результатом итоговой оценки комплексного эколого-географического состояния районов. Сложность данного этапа исследования заключается в том, что ландшафтно-экологические подразделения в пределах Арктических акваторий ранее практически не изучались, поэтому геоэкологическое районирование Арктических морей на единой ландшафтной основе проводится впервые и является довольно трудоемким и сложным процессом. Использование системного метода позволяет рассматривать Арктический бассейн как целостное территориальное единство, раскрывать взаимосвязи отдельных явлений и процессов в его пределах, увязывать сложные отраслевые и территориальные экологические проблемы региона в причинно-следственных отношениях.

Выполнение районирования осуществляется с использованием геоинформационных методов на основе пространственного анализа полигональных покрытий, хранящихся в разных векторных слоях, в качестве которых выступают геоэкологические районы бассейна. Таким образом, районирование является результатом логических операций на взаимное их перекрывание и пересекаемость, где полигонами являются географические и экологические районы и ареалы, выделенные в результате двух предварительных стадий районирования акваторий – географического и экологического. В результате, геоэкологическая ситуация каждой акватории показана на основе выделения районов с совпадением ареалов максимальных уровней техногенных нагрузок на экосистему акватории с наиболее нестабильными к внешним нагрузкам природными аквальными комплексами.

В качестве информации о тематическом районировании используются карты географического районирования Арктического бассейна; информация об экологическом состоянии экосистем получена из предварительно составленных оценочных карт экологического состояния акваторий с выделенными областями максимальных техногенных нагрузок, карт оценки риска развития негативных процессов в результате техногенной деятельности, а также аналитических карт отдельных экологических

характеристик, отражающих характер пространственного распределения загрязнителей по отдельным акваториям Арктического бассейна.

На заключительном этапе районирования результаты логического пересечения ареалов подвергаются корректировке, с использованием географических знаний о принципах распространения загрязняющих веществ в конкретных физико-географических условиях отдельных акваторий и о закономерностях поведения природных экосистем под воздействием техногенного давления. Проверка выполненных процедур на географическую достоверность необходима, т.к. машинная автоматизация, используемая при анализе географических систем, не является абсолютно достоверной в силу ее работы на логико-математических принципах, не позволяющих на данном этапе развития геоинформатики формализовать географические знания, строить прогноз поведения отдельных компонент экосистем и сценарии их дальнейшего развития.

Легенды итоговых геоэкологических карт построены по матричному типу. По горизонтальным строкам в них расположены выделенные районы отдельных акваторий арктического бассейна, отличающиеся друг от друга по набору экологических критериев и являющиеся основными единицами анализа. При этом районам присваиваются один из четырех классов состояния эколого-географических условий (благоприятных, удовлетворительного, неудовлетворительного и критического). Геоэкологические районы имеют номер, название, описание основных видов литологической характеристики, растительности и почв, площадную характеристику и другие характеристики данного района, взятые из банка данных. Вертикальные колонки матрицы содержат сведения об использовании данной акватории, антропогенных факторах формирования экологического состояния морских ландшафтов, расположенные по площадным, линейным, локальным видам воздействия, с дальнейшим уточнением учитываемых параметров. Завершается матрица колонкой «Степень измененности аквальной экосистемы» и факторы ее формирования. На пересечении обеих колонок матрицы отдельной штриховкой показаны геоэкологические районы бассейна, выделенные на основе анализа обеих составляющих легенды: воздействия хозяйственной деятельности человека и природных условий акватории.

IV. Заключительный этап разработанной методики представлен редакционно-составительским блоком картографирования, где разрабатывается структура и основное содержание серии геоэкологических карт, осуществляется выбор способов изображения и условных обозначений на картах, и разрабатываются типы и структура легенд. Легенда

и условные обозначения к картам разрабатываются в соответствии со шкалой степени загрязнений акваторий и классификацией геоэкологических районов.

Комплексные геоэкологические карты сопровождаются сложными легендами, подразделяющимися на разделы и подразделы с учетом иерархической соподчиненности отображенных явлений. Поэтому в процессе картографирования возникает задача формализации легенд на основе классификаций изображаемых объектов. Основной трудностью в разработке легенды при составлении геоэкологических карт является определение степени воздействия всех географических и антропогенных процессов и явлений на акваторию. Наличие большого фактического материала по различным типам природных процессов требует учета всех возможных взаимосвязей между компонентами природной среды, не только прямых, но и косвенных, полученных при анализе различных карт. Только комплексное сочетание всех факторов геоэкологического состояния обеспечивает возможность составления итоговых геоэкологических карт исследуемого региона. Это обуславливает выбор матричного типа легенд при составлении геоэкологических карт в процессе геоинформационного картографирования Арктики.

Матричная легенда геоэкологических карт состоит из четырех информационных блоков. Первый блок характеризует природную обстановку региона, где основной картографируемой единицей являются ландшафтные выделы акваторий, которые позволяют обособить отдельные районы, отличающиеся набором идентичных процессов и природных явлений. Этот блок легенды также содержит границы единиц географического районирования, включая тектонические, морфологические и геоморфологические с выделением структур различных порядков. Второй блок легенды содержит информацию о техногенной нагрузке и отображает функциональную организацию прибрежных регионов с выделением различных типов антропогенной деятельности: промышленно-урбанистического, сельскохозяйственного, водохозяйственного, лесохозяйственного, природоохранного и других. Здесь сгруппированы объекты, которые оказывают отрицательное воздействие на природную среду: нефте- и газоконденсатные месторождения, заводы, судостроение, морские транспортные артерии, свалки промышленных, радиоактивных и бытовых отходов. Выделение объектов антропогенной деятельности дает возможность определить степень нагрузки на прилегающий регион акватории. Третий блок легенды содержит данные о загрязнении и нарушении природной среды, объемы сброса жидких отходов в водоемы и водотоки, газовые выбросы в атмосферу. Буквенными символами на карте показаны названия химических элементов и соединений, содержание которых в почвах, донных осадках и поверхностном слое вод повышено по сравнению с геохимическим фоном. Интенсивность аномалий ранжирована по пяти уровням: допустимый, умеренный, умеренно

опасный, опасный и чрезвычайно опасный. Четвертый блок легенды посвящен прочим обозначениям на карте: буквенным сокращениям, политическим границам и т.д.

Разработка системы условных обозначений к серии геоэкологических карт проводится по следующим принципам и условиям:

- Система условных обозначений и отдельных символов всех карт серии установлена единой для всех тематических карт и точно соответствует разработанной классификации.
- Геоэкологические карты, составляемые на основе тематических, должны быть наглядными при оперативном использовании. Для выполнения этого условия, наряду с основной шкалой символов, предусмотрена шкала дополнительных символов в более крупных масштабах (например, отдельно для Печорского моря) при изображении основных экологических характеристик.
- Изображение отдельных объектов (захоронения ядерных объектов, АЭС, айсберги, ледяные поля, граница криолитозоны, ареалы обитания представителей арктической фауны и т.д.) устанавливается похожим на внешний облик этих объектов или внешне напоминает наиболее характерные их признаки.
- Между условными знаками карт разных масштабов тематической серии соблюдается логическая взаимосвязь для повышения читаемости карт: условные знаки полностью согласовываются с разработанной классификацией объектов, где каждой генетической группе объектов присвоена одинаковая форма установленных знаков (пунсоны, геометрические объекты, звездочки, линии и т. д.).
- Форма и размеры знаков на геоэкологической карте соответствуют масштабу карты и количеству содержащейся в ней информации.
- Сведения сомнительные либо недостоверные, выделяются особым изображением или оговариваются под отдельными сносками на полях карты. Выделяются также сведения, отличающиеся друг от друга по точности. Районы с недостатком данных выделяются отдельным полигоном с надписью «районы с недостаточными данными». В основном, это касается района Канадского Арктического архипелага.

При оформлении карт соблюдаются основные принципы дизайна серийных карт: единый стиль компоновки, макетов и зарамочного оформления всех карт серии. Единство в принципах оформления обеспечивает удобство сравнения и наглядность карт при их совместном изучении, наглядность и читаемость карт. Несмотря на разнообразие

отображаемых объектов, стилей и способов оформления, карты серии образуют единство благодаря одинаковой математической основе и общим принципам их оформления. При изображении одного объекта на различных картах в разных масштабах сохраняется его изображение и цветовая гамма для удобства сопоставления карт и во избежание ошибок при чтении.

Целесообразность применения предложенной методики геоинформационного картографирования в изучении Арктических морей определена ее разработкой для анализа взаимосвязей между сложными географическими явлениями и экологическими процессами в комплексных морских экосистемах такого масштаба как бассейн Северного Ледовитого океана, а также разработкой алгоритма геоэкологического районирования Арктического бассейна на основе всей доступной тематической информации.

Серия геоэкологических карт акваторий, созданных по предложенной методике геоинформационного картографирования, состоит из нескольких сопряженных, представляющих собой единую систему карт, обладающих сложной тематической нагрузкой и отражающих отдельные компоненты морской экосистемы и их связи с другими с учетом различных внешних и внутренних условий. Тематические карты, составленные на основе разработанной методики, дают интегральную оценку экологического состояния Арктического бассейна на современном этапе и служат информационной базой для природоохранного мониторинга.

Глава 3. Апробация разработанной методики:

составление геоэкологических карт Арктики, Баренцева и Печорского морей

Реализация серии геоэкологических карт осуществлялась на регион Арктического бассейна в целом, Баренцева и Печорского морей. Выбор объектов исследования определен, во-первых, необходимостью апробировать методику на примерах экосистем различных иерархических уровней в разных масштабах – глобального, регионального, локального. Во-вторых, Баренцево море является одним из наиболее освоенных для хозяйственной деятельности морей, что обуславливает необходимость более детального изучения его экологического состояния. Печорское море, являясь, по сути, обособленной акваторией Баренцева моря, подвергается в последнее время негативным экологическим воздействиям в результате интенсивных разработок горючего топлива на шельфе, поэтому состояние его экосистем необходимо рассматривать более подробно для детального картографирования. И, наконец, другим фактором, обусловившим выбор объектов картографирования на трех масштабных уровнях, является их относительно хорошая

изученность: регион Арктического бассейна активно исследуется многочисленными научно-исследовательскими центрами мира, Баренцево море изучается, российскими и норвежскими организациями (в т.ч. ММБИ, Норвежский Институт полярных исследований им.Скотта), публикующими различные данные, информацию и материалы, которые используются при разработке настоящего проекта, лаборатория Севера МГУ проводит исследования по Печорскому морю, отдельные данные из которых также были включены в проект.

Для составления серии геоэкологических карт предлагается использовать следующие масштабы: для Печорского моря 1:2.000.000, для Баренцева моря 1:3.000.000, на регион Арктического бассейна в целом – 1:6.000.000, как отвечающие назначению карт. При переходе на следующий иерархический уровень картографирования соответственно меняется детальность карт, определяемая установленными принципами генерализации, и степень подробности отображаемых объектов и явлений с сохранением тематического содержания карт для каждого уровня.

В результате апробации разработанной методики на примере Арктического бассейна, Баренцева и Печорского морей в процессе работы над диссертационным проектом были составлены следующие блоки тематических карт.

1. **Инвентаризационные карты**, демонстрирующие характер пространственного распределения загрязнителей по отдельным акваториям Арктических морей и уровень загрязнения отдельных компонентов природной среды различными типами загрязнителей.

Карты данного блока отражают экологические характеристики, природные условия и ресурсы Арктического бассейна, содержат основу для разработки следующих тематических карт и имеют информационно-справочный характер. Показывая местоположение существующих источников загрязнения и ареал их распределения в пределах акватории, они дают возможность анализа особенностей направления их миграции. В данном блоке составлены следующие тематические карты:

- содержание нефтяных углеводородов в придонном слое вод Баренцева моря,
- содержание нефтяных углеводородов в придонном слое вод Печорского моря,
- содержание тяжелых металлов в придонном слое вод Арктического бассейна (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)
- загрязнение морской воды Арктического бассейна радионуклидами (^{137}Cs , ^{60}Co , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{90}Sr)
- загрязнение придонного слоя вод Печорского моря хлорорганическими соединениями (сумма ДДТ, Σ ГХЦГ, Σ ПХБ)
- содержание тяжелых металлов в тканях рыб (треска, пикша, палтус, камбала) в Баренцевом море (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)

- содержание тяжелых металлов в организмах зоопланктона в Баренцевом море (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)
- содержание тяжелых металлов в донных осадках Арктического бассейна
- концентрации и очаги распространения тяжелых металлов (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) в атмосфере Арктического бассейна
- Содержание Cs-137 в донных осадках Печорского моря

2. Карты динамики нарушений отдельных компонентов природной среды в акваториях Арктических морей. Карты данного блока демонстрируют временную динамику развития негативных экологических процессов, обусловленных чрезмерным техногенным воздействием по данным за различные временные периоды (охватывающие в основном 20 – 25 лет). Карты показывают масштабы загрязнений и развитие негативных процессов и явлений по разным датам, что дает возможность анализа тенденций развития процессов для их дальнейшей оценки, а также прогнозирования направленности вероятных изменений в дальнейшем при условии сохранения уровня и характера антропогенной нагрузки. Карты данного блока имеют аналитический характер и содержат основу для разработки прогнозных экологических карт. В блоке данной серии составлены следующие карты:

- сокращение площади криолитозоны Арктических морей за период 1985-2005
- динамика нефтяных загрязнений Арктического бассейна (за период 1985-2005 г.г.),
- динамика загрязнения морской воды полициклическими ароматическими углеводородами (сумма ПАУ) по данным за 1985-2005 г.г.
- динамика нефтяных загрязнений Баренцева моря (за 1965-2005 г.г.)
- динамика радиоактивного загрязнения Баренцева моря (за 1965-2005 г.г.)

3. Оценочные карты экологического состояния Арктических морей представлены картами интегральной оценки риска нарушений природных экосистем и предназначены для природоохранного мониторинга и прогнозирования развития состояния экосистем. Карты составлены на основе использования инвентаризационных карт и карт динамики. При создании карт данного блока оценивались диапазоны изменчивости отдельных компонентов экосистемна регион Арктического бассейна и основных системообразующих элементов. В основе оценки лежит анализ соотношения двух факторов: суммарного количества выбросов загрязняющих веществ и уровнем устойчивости экосистем по отношению к воздействиям внешних нагрузок. Экологическая устойчивость экосистем устанавливается на основе подробного анализа физико-географической ситуации каждой изучаемой акватории и представлена в виде матричной таблицы значений, ранжированных по шестибальной шкале. Для определения индекса устойчивости морских экосистем используется информация из следующих природных информационно-тематических блоков: геолого-геоморфологический, гидролого-океанологический, климатический. Таблица представлена в матричной форме, где по

вертикальной оси представлены геолого-геоморфологические характеристики (из которых наименее устойчивыми являются депрессии рельефа с доминирующим глинистым типом осадочных отложений), по горизонтальной оси гидролого-океанологические характеристики (приводится скорость течений, температура и соленость вод как основные факторы в процессах саморегуляции систем), климатические характеристики приводятся в виде дополнительной штриховки (осложняющими факторами являются наличие многолетних льдов, припая, расположение центров циклонической деятельности др.). На основе пересечения разных типов физико-географических характеристик акваториям Арктического бассейна присваивается определенный индекс экологической устойчивости. В результате, оценка риска экологических нарушений дается на основе анализа взаиморасположения очагов максимальных техногенных воздействий и районов с наименьшей экологической устойчивостью экосистем.

Блок представлен следующими картами (установленные масштабы: 1:6.000.000, Баренцева моря – 1:6.000.000, Печорского моря - 1:2.000.000):

- охраняемые и заповедные территории Арктического бассейна
- оценка последствий выбросов в акваторию Печорского моря нефтяных углеводородов
- оценка последствий выбросов радиоактивных веществ (^{137}Cs , ^{60}Co , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{90}Sr) в акваторию Баренцева моря
- оценка последствий выбросов радиоактивных веществ (^{137}Cs , ^{60}Co , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{90}Sr) в акваторию Печорского моря
- оценка последствий выбросов в акватории Арктического бассейна химических веществ (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)
- оценка последствий выбросов в акваторию Баренцева моря химических веществ (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)
- оценка последствий выбросов в акваторию Баренцева моря хлорорганических соединений (сумма ДДТ, ГХБ, Σ ГХЦГ, Σ ПХБ)

4. Итоговые карты геоэкологического районирования экологической ситуации региона Арктического бассейна, Баренцева и Печорского морей.

Геоэкологическое районирование на основе пространственного эколого-географического анализа акваторий проводилось в результате взаимного совмещения географического и экологического районирования и анализа районов, выделенных на этих двух этапах, на результат их пересеканности. В качестве информации о географическом районировании использовались карты физико-географического и тематического районирования Арктического бассейна (в т.ч. геоморфологического, гидрологического, гляциологического, криолитологического и др.). Среди индикаторов экологического состояния экосистем, которые были использованы при районировании акваторий, использовались самые информативные: химический состав морской воды, величины концентраций загрязнителей в составе донных отложений, процессы

разрушения отдельных компонент экосистемы. В результате, в блоке разработаны следующие карты геоэкологического районирования:

- геоэкологическое районирование Печорского моря
- геоэкологическое районирование Баренцева моря
- геоэкологическое районирование Арктического бассейна

Картографирование Арктических морей в масштабах 1:2.500.000 - 1:3.000.000 – 1:6.000.000 является перспективным направлением применения картографических методов для экологического мониторинга, количественного и качественного анализа состояния морских экосистем и геоэкологического районирования Арктического бассейна. Предложенная методика картографирования предназначена в первую очередь для природоохранных институтов, занимающихся проектированием экологических карт и осуществлением экологического контроля и мониторинга морских акваторий Арктического региона. Карты, составленные по разработанной методике, могут служить основой для принятия решений в области экологического прогнозирования, для решения задач моделирования динамики поведения морских экосистем в зоне интенсивного антропогенного воздействия (например, шельфовой зоне и очагах интенсивной нефтедобычи и др.).

Заключение

В результате проведенных теоретических исследований и разработанных практических методов решена основная задача диссертации – обоснованы принципы геоинформационного картографирования Арктических морей, на основе которых разработана методика создания геоэкологических карт, апробированная в ходе проведенных экспериментальных работ на примере создания серии геоэкологических карт Арктического бассейна, Баренцева и Печорского морей.

Основные выводы и результаты работы

Основные результаты работы над диссертационным исследованием заключаются в следующих положениях:

- проанализированы и изучены существующие методики геоинформационного картографирования экосистем Арктических морей и обобщен существующий опыт их применения в виде разработанных тематических карт; анализ работ и исследований по данной теме показал отсутствие единых принципов системного картографирования региона, универсальных методов интеграции исходных материалов и алгоритмов анализа тематических данных, а также методическую неразработанность проблемы.

- разработаны принципы интеграции и сбора тематических данных на акватории морей Арктического бассейна (фактографических, статистических, картографических и литературных), разнородных по форматам, масштабам и территориальному охвату, разновременных и нерегулярных; разработаны методы анализа материалов на их достоверность и пригодность для использования, методы их классификации, структурного обобщения и организации в системе банка данных диссертационного проекта. Характер используемых материалов, их масштабы, территориальный охват и сроки используемых данных экспедиционных наблюдений определяются целями и задачами исследования.
- проведен комплексный анализ состояния природной среды морских экосистем Арктики, включая региональные физико-географические особенности и гидрологический режим отдельных акваторий; рассмотрены факторы антропогенного воздействия, приводящие к экологической нестабильности экосистем; изучены причины поступления загрязняющих веществ в акватории Арктического бассейна, закономерности их пространственного распределения в пределах отдельных акваторий и последствия их влияния на состояние морских экосистем.
- сформулированы и разработаны теоретические принципы комплексного геоинформационного картографирования экосистем Арктических морей:
 1. **принцип комплексной интеграции и согласованности данных** в разработке системы организации исходных информационных ресурсов при формировании иерархической структуры базы геоданных в Arc Catalog, и анализа их метаданных на достоверность и пригодность для дальнейшего использования.
 2. **принцип генерализации** разномасштабного картографирования для разработки назначения, содержания и оформления карт на трех системных иерархических уровнях: Арктического бассейна (масштаб 1:6.000.000), региона Баренцева моря (масштаб 1:3.000.000) и Печорского моря (масштаб 1:2.000.000); определены ранг, классы и типы картографируемых объектов, а также способы их изображения соответственно масштабному уровню.
 3. **ландшафтно-экологический принцип** используется для создания инвентаризационно-аналитических карт экологического состояния морских акваторий, отличающихся высоким уровнем обобщения и обработки тематической информации, включающей для каждого

выдела акватории ряд интегральных ландшафтно-экологических показателей: геолого-геоморфологическую приуроченность, особенности гидролого-океанологического режима, климатические показатели, биологические характеристики морских экосистем, а также оценку направления хозяйственного использования акваторий и уровень антропогенного давления в их пределах. Использование данного принципа заключается в том, что создание инвентаризационно-аналитических карт базируется на основе комплексного использования обширного тематического материала, организованного в базе геоданных, его глубокого анализа и синтеза, т.к. эти карты являются научной основой для дальнейшего составления оценочных и комплексных геоэкологического карт, а также районирования Арктического бассейна.

4. **принцип исторического анализа** для создания блока карт динамики загрязнений акваторий по данным на разные временные периоды, показывающих тенденцию развития негативных процессов и явлений во времени; выделены критерии отбора временных рядов исходных экологических данных для отображения временных интервалов наиболее характерных изменений ситуаций химического, радиоактивного и углеводородного загрязнений.
 5. **системно-аналитический принцип** геоинформационного картографирования для создания синтетических и комплексных карт серии и предполагает системное единство тематических данных в процессе проектирования геоэкологических карт; принцип заключается в синхронном анализе тематического материала на исследуемый регион (включая интерпретацию материалов экспедиционных съемок, океанографических наблюдений, статистических данных) сопряженном с анализом географических условий отдельных акваторий бассейна, для выявления ареалов кризисной экологической ситуации в условиях конкретных физико-географических районов, что является основой для геоэкологического районирования.
- разработана методика геоинформационного картографирования экологического состояния Арктического бассейна, состоящая из трех этапов – 1) этап интеграции исходных материалов в базе геоданных и формирования ее структуры, 2)

информационно-аналитический этап анализа и обработки данных 3) этап редакционно-составительских работ. Определены преимущества использования геоинформационных методов, рассмотрены возможности использования отдельных модулей Arc GIS 9.1 на этапах моделирования и анализа геоданных.

- предложенная методика апробирована на примере создания серии геоэкологических карт Арктического бассейна, Баренцева и Печорского морей; разработано содержание и структура легенд карт, определены их масштабы. На основе анализа составленных карт изучена взаимосвязь подводного рельефа, направления течений и других природных факторов с характером распространения загрязнителей в пределах акваторий, выявлены основные источники и направления трансграничного переноса загрязняющих веществ, масштабы и динамику загрязнения отдельных акваторий бассейна.
- на основе пространственного интегрального анализа физико-географических районов Арктического бассейна и экологического состояния отдельных акваторий в их пределах проведено комплексное геоэкологическое районирование Арктического бассейна, Баренцева и Печорского морей с выявлением районов кризисных экологических ситуаций для целей экологического мониторинга Арктического бассейна.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

- Суетова И.А., Ушакова Л.А., Леменкова П.А. **‘Геоинформационное картографирование Баренцева и Печорского морей’**. “География и природные ресурсы”, № 4, Октябрь-декабрь 2005, с.138-142.
http://www.izdatgeo.ru/journal.php?action=output&id=3&lang_num=1&id_dop=68
- Леменкова П.А. Геоинформационное картографирование Баренцева и Печорского морей. Доклад на студенческой научной конференции «Ломоносов-2003», март 2003, Москва, МГУ им. М.В.Ломоносова, географический факультет.
- Suetova I.A., Ushakova L.A., Lemenkova P.A. **‘Geoecological mapping of the Barents Sea using GIS’**, International Cartographic Conference InterCarto-2005
http://www.creaf.uab.es/MiraMon/new_note/cat/news/icc2005/ICC2005-oral.pdf theme 5 'Digital Cartography and GIS for sustainable development of territories', session 4, 'Land management(3)'.
<http://www.cartesia.org/geodoc/icc2005/pdf/oral/TEMA5/Session%204/INNA%20SUE TOVA.pdf>
- Gohl, K., Eagles, G., Udintsev, G., Larter, R. D., Uenzelmann-Neben, G., Schenke, H. -W., Lemenkova, P., Grobys, J., Parsiegl, N., Schlueter, P., Deen., T., Kuhn, G., Hillenbrand, C. -D. [2006] **‘Tectonic and sedimentary processes of the West Antarctic margin of the Amundsen Sea embayment and Pine Island Bay’**.
http://web.awi-bremerhaven.de/Publications/Goh2006b_abstract.html