

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Российский государственный
гидрометеорологический университет»

В. Миранков

На правах рукописи

Миранков Валерий Александрович

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ
ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В АКВАТОРИИ

Специальность: 25.00.35 – Геоинформатика

ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
д.т.н., профессор П.П. Бескид

Санкт-Петербург - 2015

Оглавление	
Введение.....	4
Глава 1. Математическое описание данных, получаемых от различных средств изменения параметров морской поверхности.	10
1.1. Техногенные аномалии и их влияние на характеристики излучения и рассеивания зондирующих колебаний.....	10
1.2. Средства обнаружения нефтяных загрязнений акваторий	15
1.3. Структура комплексной системы экологического мониторинга морских акваторий.....	22
1.4. Структура информационной системы оперативной оценки экологического состояния морских акваторий.	29
Глава 2. Алгоритмы объединения данных от систем различных диапазонов волн для обнаружения аномалий на водной поверхности.....	53
2.1. Принципы интеграции информации в автоматизированной информационной системе дистанционного мониторинга	53
2.2 Алгоритм объединения данных измерительных сенсоров на уровне сигналов	56
2.3. Алгоритм слияния и обработки радиолокационных изображений на уровне параметров.....	63
Глава 3 Содержание и концепция построения геоинформационной системы поддержки принятия решений.	73
3.1. Управление защитой геоинформационных систем поддержки принятия решения.	73
3.2 Состав системы моделей и методов представления и обработки геоинформации в АСУ.....	85
3.3 Типизация и интеллектуализация основных функций и подсистем СППР... ..	87

3.4 Разработка архитектуры и алгоритмов унифицированных базовых наборов модулей интеллектуальных систем освещения обстановки на электронных картах, решающих типовые расчетные задачи в условиях неполноты и противоречивости исходных данных.....	96
Глава 4 Оценки уязвимости природных зон в различные временные интервалы.	112
4.1. Оценка чувствительности морских побережий к различным видам антропогенного воздействия.	112
4.2. Структура геоинформационной программы поддержки принятия решений.	121
4.3. Исходные данные и требования предъявляемые к геоинформационной системе поддержки принятия решения.....	127
Заключение.....	137
Список литературы	140
Приложение.....	145

Введение

В настоящее время актуальным является вопрос об экологическом состоянии Мирового океана, поскольку он является глобальным транспортным путем, по которому перевозится большая часть нефти и нефтепродуктов. Отсюда появляется необходимость в раннем обнаружении различных аномалий, связанных как с непреднамеренным загрязнением, так и в результате техногенных катастроф.

В основе современной системы экологического мониторинга должен преимущественно лежать принцип прогнозирования (своевременного предупреждения) нежелательной ситуации, а не реагирования на уже сложившуюся ситуацию. Нужно также учитывать тот факт, что негативное воздействие нефтяного загрязнения на водную среду носит комплексный характер, а степень воздействия вредных веществ на гидробионтов имеет широтную, температурную и другие зависимости. Поэтому для мониторинга нефтяных загрязнений необходимо проведение непрерывных наблюдений во времени, исходя из продуманного распределения измерительных средств в пространстве, для чего необходимо использовать распределенную многосенсорную систему дистанционного мониторинга. Она должна работать оперативно, желательно в реальном масштабе времени. Оперативность подразумевает также сокращение временных рамок принятия решения по классификации наблюдаемого объекта. Поэтому необходимо автоматизировать не только процесс сбора данных, но и алгоритмы классификации объекта наблюдения, чтобы привлечь внимание человека-оператора только к объектам действительно угрожающим экологическому состоянию наблюдаемой территории и еще на этапе автоматизированной обработки данных отсеять объекты, не угрожающие экологическому состоянию зоны ответственности. Для автоматизации алгоритмов обработки сигналов и классификации объектов нужно использовать методы интеграции данных на различных уровнях – на уровне сигналов, на уровне пикселей, на уровне параметров, на уровне решений.

Базовым ядром интеллектуального компонента интерфейсов конечных пользователей является система поддержки принятия управленческих решений при возникновении аварийной ситуации в экологическом состоянии морской поверхности.

Актуальность диссертационной работы обусловлена необходимостью оптимизировать состав и количество измеряемых параметров, характеризующих состояние морской поверхности, а также математическое и аппаратно-программное обеспечение для обработки поступающей информации, позволяющей оценивать экологическое состояние морской поверхности и вырабатывать адекватные управленческие решения при возникновении аварийных разливов нефтепродуктов и других нештатных ситуаций на морской поверхности.

Степень разработанности проблемы геоинформационных систем, велика, так как многие частные и государственные компании на протяжении долгого времени разрабатывали и внедряли ГИС. Основным направлением работы разработчиков определялось повышение точности прогнозов распространения и уменьшение ошибок определения загрязнений, что, безусловно, является основным приоритетом в работе ГИС. Алгоритмы и модели достигли высокого уровня проработки, что позволят с высокой точностью прогнозировать распространение загрязнения. Но, в настоящее время нет разработанных ГИС поддержки принятия решений, которые позволяли оператору оценить степень опасности загрязнения относительно экологического состояния акватории в определенный сезон, что позволяет в условиях ограниченных материальных возможностей максимально эффективно устранять аварийные ситуации.

Применительно к рассматриваемому направлению можно указать на работы отечественных ученых (Алексеев В.В., Алешин И.В., Биденко С.И., Попович В.В., Кошкарев А.В., Тикунов В.С., Яшин А.И.), а также зарубежных (Fedra K., Goodchild M.F., Gijsbers P.J.A., Lam D., Leon L., Letcher R.A./ Muetzelfeldt R., Nyerges T.L., Oxley T., Reynolds K.M., Schumann A.H., Sui D.Z., Villa F.)

Целью диссертационной работы является повышение эффективности функционирования геоинформационных систем поддержки принятия решения при аварийных разливах нефтепродуктов на морской поверхности путем совершенствования структур ГИС и методов обработки информации.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- разработать концепцию построения геоинформационной системы поддержки принятия решений при аварийных разливах нефтепродуктов;
- осуществить математическое описание данных, полученных от оптимально расположенных сенсоров в распределенной многосенсорной системе мониторинга;
- разработать алгоритм обнаружения, распознавания, объединения и идентификации неоднородностей на морской поверхности, полученных от различных датчиков;
- разработать математическое, алгоритмическое и аппаратно-программное обеспечение принятия решений в ГИС при аварийных разливах нефтепродуктов и возникновении других нештатных ситуаций.

Объектом диссертационного исследования являются процессы автоматизированной обработки пространственной информации об экологическом состоянии морской поверхности геоинформационными средствами сбора, обработки, анализа и предоставления и обработки геоинформации.

Предметом исследования является геоинформационное моделирование представления, ввода, обработки, анализа, передачи и отображения геоинформации в ГИС поддержки принятия решений.

Теоретическая значимость исследований состоит в:

- дальнейшем развитии методов и математического аппарата обработки геоинформации;
- объединении информации от разнородных сенсоров экологического мониторинга морской поверхности;
- разработке методов предоставления полученной информации от ГИС;

- предложении рекомендаций по принятию управленческих решений при возникновении нештатных ситуаций.

Практическая значимость результатов работы заключается в:

- разработке структуры ГИС поддержки принятия решения;
- разработке аппаратного и программного обеспечения для принятия адекватных управленческих решений при возникновении нештатных ситуаций на морской поверхности;
- создании программного обеспечения, позволяющего применять разработку в любом подразделении контролирующей экологическое состояние акватории организации.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 25.00.35 по следующим пунктам:

п.3 "геоинформационные системы (ГИС) разного назначения, типа (справочные, аналитические, экспертные и др.), пространственного охвата и тематического содержания";

п.7 "геоинформационное картографирование и другие виды геомоделирования, системный анализ многоуровневой и разнородной геоинформации";

п.9 "геоинформационные инфраструктуры, методы и технологии хранения и использования геоинформации на основе распределенных баз данных и знаний".

Достоверность основных положений и выводов диссертационной работы подтверждается корректностью допущений и ограничений при выводе математических выражений, использованием апробированных численных методов оценки, согласованностью основных теоретических положений диссертации с практической реализацией предложенных решений, а также результатами вычислительных и научных экспериментов.

На защиту выносятся:

1. Концепция построения и структура информационной системы экологического мониторинга акваторий морского порта.
2. Методика и алгоритмическое обеспечение объединения информации от различных физических датчиков экологического состояния морской поверхности.
3. Концепция построения и структура геоинформационной системой поддержки принятия управленческих решений при аварийном разливе нефтепродуктов в акватории морского порта.
4. Алгоритмическое и программное обеспечение процесса принятия управленческих решений в ГИС при аварийном разливе нефтепродуктов.

Научная новизна

1. Впервые создана структура информационной системы экологического мониторинга, построенная на базе датчиков различной физической природы, что позволило повысить вероятность обнаружения нефтяных загрязнений на морской поверхности.
2. Методика и алгоритмическое объединение информации от различных физических датчиков впервые осуществляется на четырех уровнях: однородных сигналов, пикселей, параметров и символов, что повышает точность и сокращает время принятия решения при возникновении нештатных ситуаций на морской поверхности.
3. Концепция построения и структура ГИС поддержки принятия управленческих решений при разливе нефтепродуктов впервые позволяет принимать адекватные управленческие решения для любой координатной точки контролируемой зоны.
4. Впервые разработано алгоритмическое и программное обеспечение процесса принятия управленческих решений в морской акватории с учетом экологической уязвимости отдельных участков контролируемой зоны.

Публикации. Содержание диссертации и некоторые примеры практического применения результатов исследования изложены в 8 публикациях, 3 из которых помещены в рекомендованных ВАК России журналах. Так же по теме исследования получены 2 патента.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Содержит 165 страниц текста 7 таблиц и 12 рисунков. Список литературы включает 59 наименований.

Глава 1. Математическое описание данных, получаемых от различных средств изменения параметров морской поверхности.

1.1. Техногенные аномалии и их влияние на характеристики излучения и рассеивания зондирующих колебаний.

Актуальнейшим вопросом гидроэкологии является борьба с загрязнением мирового океана методами дистанционного обнаружения и оконтуривания пятен нефти и нефтепродуктов на поверхности акваторий. В настоящее время разработаны радиофизические методы для решения указанной задачи, основанные на принципе различия контрастности оптических, тепловых и радиоактивных свойств гидроповерхности «чистой» воды и загрязненной нефтью и нефтепродуктами. Созданные методы, помимо высокой оперативности, позволяют выявлять и оконтуривать загрязнение вскоре после разлива нефти, когда еще при малых затратах реально осуществить очистку акваторий.

При разливе нефти, как показывают исследования[1], на поверхности акватория образуется нефтяной слой толщиной в несколько сантиметров (2-6), который затем в течение нескольких часов расплывается на значительную площадь (литр нефти на один гектар), при этом толщина пленки достигает 0,1 – 0,01 мм. Через несколько суток толщина пленки уменьшается до молекулярного слоя и при этом часть нефти эмульгирует и находится в толще воды в виде включений. Образовавшийся нефтяной слой изменяет условия термодинамического равновесия и приводит к возникновению температурной аномалии – температурному контрасту между чистой водой и водой, загрязненной нефтепродуктами. Эта аномалия обусловлена:

уменьшением скорости испарения с поверхности воды из-за подавления нефтяной пленкой высокочастотных водяных волн;

изменением излучательной способности загрязненной поверхности воды из-за более высокого коэффициента отражения нефтепродуктов;

более низкой теплопроводностью нефти и нефтепродуктов (в 3-6 раз) и теплоемкостью (1,5-2,5 раза) по сравнению с «чистой» водой.

Вследствие этих причин согласно расчетам [1], различие в радиационных температурах нефти T_n и воды T_e в солнечный день более (1-2) К, ночью более (0,5 – 1)К.

Оптические свойства чистой воды также существенно отличаются от свойств воды, загрязненной нефтепродуктами. Для чистой воды в океане длина волны максимально рассеянного света близкой к ультрафиолетовой (УФ) и видимой области спектра равна 470 нм, коэффициент преломления $n=1,3$, угол Брюстера 53° . В загрязненной нефтепродуктами воде за счет электронных переходов легкие фракции нефти, присутствующие в нефтяных пленках на поверхности воды и поглощающие излучение в области ~ 300 нм, могут давать люминесценцию в диапазоне 360-460 нм; более тяжелые фракции поглощают в области ~ 370 нм и люминесцируют ~ 520 нм. Коэффициент преломления в УФ (~ 300 нм) в видимом (~ 550 нм) 1,6; угол Брюстера 58° .

В ИК – области коэффициент преломления нефти больше, чем у воды, что обуславливает более высокие коэффициенты отражения от нефтяных пленок. Существенно отличаются и поляризационные характеристики.

Естественная радиоактивность нефти обусловлена главным образом излучения урана и радия, значительно выше естественной радиоактивности морской воды. Контраст (отношения концентрация радиоактивных элементов нефти к воде) колеблется в пределах для урана 0,5-10, для радия -1-100, что обуславливает возможности выявления нефтяных загрязнений, используя собственное излучение нефтяных пленок и загрязненных акваторий.

Согласно существующим методам дистанционного обнаружения нефтяных (и не только нефтяных) загрязнений их подразделяют на три типа: пассивные, полуактивные и активные.

Пассивные методы основаны на регистрации теплового излучения (ИК и СВЧ) и естественного гамма-излучения. Полуактивные методы основаны:

на облучении естественными – Солнце, луна, и искусственными источниками электромагнитными излучениями в широком спектральном диапазоне;

анализе и сопоставлении изменения спектрального состава принятого сигнала от загрязненных и незагрязненных участков поверхности акваторий.

При использовании активных методов исследуемая водная поверхность облучается источниками излучения заданного спектрального состава (лазером) с регистрацией или отраженного излучения, или флуоресценции или комбинационного рассеивания.

При изменении отраженного УФ излучения можно зафиксировать сырую нефть и тяжелые нефтепродукты, прозрачные нефтепродукты фиксируются несколько сложнее. Максимальный контраст нефть – вода наблюдается при толщах пленки до 1мкм. Метод отражения на мелководье существенно осложняется из-за ухудшения соотношения сигнал/шум в результате роста фона от песка и ракушечника.

Метод регистрации собственного теплового излучения микроволновым радиометром позволяет определить толщину пленок d (при $d > 100$ мкм) путем измерения двух или более частот и может применяться в любое время суток и при любых погодных условиях. Основное ограничение связано с влиянием волнения моря. Методика обнаружения нефтяных пятен на основе спектров флуоресценции позволяет при использовании нескольких длин волн возбуждения (гелий-кадмиевый, эксимерный, аргоновый, лазеры с перестраиваемой длиной волны, рубиновый) различать до нескольких десятков сортов нефти. Однако, при этом следует обратить внимание на устранение фоновой люминесценции от микроорганизмов морской среды.

Использование активной радиолокаций для обнаружения нефтяных загрязнений основано на эффекте изменения рассеянного сигнала нефтяной пленкой по сравнению с чистой водой. Однако существенное ограничение применению этого метода создают сильные ветры (скорость не более 5-8 м/с), при

которых характер волнения не определяется наличием волнения на поверхности воды нефтепродуктов.

Методика на базе отражения лазерного излучения является весьма перспективной, поскольку, как показали исследования, при использовании CO₂-лазера, генерирующего на длине волны 10,6 мкм, контраст в отражательной способности воды, покрытой нефтяной пленкой нефтепродуктов толщиной менее 30-40 мкм, и чистой водой составляет 4,7-4,9. Соленость морской воды и изменения температуры поверхности в интервале 10-500С практически не влияют на отражательную способность пленки, более того пена и волнения моря в пределах 5-6 баллов также не влияют на контраст.

Обнаружение нефтяных загрязнений можно осуществить с помощью He-Ne-лазера на длине волны $\lambda=633$ нм, лазера на GaAs ($\lambda=900$ нм), лазера на рубине ($\lambda=690$ нм) и неодиме ($\lambda=1,06$ мкм). Однако для этих длин волн контраст меньше (~ 2). Эксперименты проводились, в частности, на пленках дизельного топлива и автола на спокойной и взволнованной морской поверхности в различное время суток. Установлено, что пленки дизельного топлива увеличивают отражательную способность на длине волны $\lambda \sim 900$ нм в зависимости от толщины пленки и состояния поверхности акватории. Для $d \sim 0,07-0,1$ мм и поверхности с рябью 3-5 см отражательная способность h (по отношению к отражательной способности чистой воды) равна $\sim 3,5-4$; при $d \sim 0,2$ мм $h \gg 1$; при $d > 0,7$ мм остается практически постоянной - $h \sim 2,5$. На спокойной морской поверхности при толщине пленки $d < 0,1$ мм $h \gg (5-7)$, с увеличением толщины значение h падает и, начиная с $d \sim 0,15$ мм, становится ниже, чем для чистой воды.

Для автола при $d=(0,05-0,12)$ мм на взволнованной поверхности $h \sim 2-3$, с ростом толщины падает, но остается больше единицы. Для спокойной водной поверхности при $d \sim 0,2$ мм $h \sim 7,5$. При росте d до 1,2 мм h снижается до 3.

Согласно экспериментальным данным наибольший контраст яркости нефтяная пленка-вода имеет место в спектральных областях 700-800 нм, 1 мкм и 10 мкм, причем в области 10-11 мкм величина контраста максимальна. Поэтому

следует ориентироваться при проектировании аппаратуры по методике отражения на CO_2 -лазер ($\lambda = 10,6$ мкм).

Коэффициент отражения от пленки зависит от ее средней толщины, показателем преломления n и поглощения A нефти (нефтепродукта) и от длины волны λ зондирующего излучения. Установлено, что независимо от параметров распределения пленки эта зависимость сохраняется. Для $\lambda \sim 10$ мкм этот интервал соответствует толщинам пленки 0,1-0,2 мкм. Используя зависимость можно оценивать толщину пленки.

Согласно экспериментальным результатам[2] при постоянной скорости дрейфа пленки и отсутствия резкой неоднородности толщина пленки изменяется по закону $L-\lambda$, где L -расстояние от источника вдоль трассы, по такому же закону изменяется мощность и отраженного сигнала, согласно эксперименту это имеет место при $L \sim 600$ м от источника. В максимуме сигнала $R_{отн} = 50$. При надежной регистрации ($R_{отн} = 10$) это соответствует $d = 2$ км. Таким образом, можно оценивать толщину пленки по всем поверхностям загрязнения.

Большим недостатком метода отражения является ограниченность угла приема отраженного сигнала.

Методов обнаружения поверхностных нефтяных загрязнений гидросферы на основе тех или иных механизмов достаточно много, что отмечалось выше. Однако, ни один из этих методов не может конкурировать с люминесцентным методом, более того только методы, основанные на флуоресценции и комбинационном рассеивании, позволяют классифицировать тип нефти. Результаты исследования 29 проб сырой нефти показали, что каждую пробу можно однозначно охарактеризовать, измеряя длину волны максимума испускания, время жизни и квантовый выход флуоресценции. Более того, эффективность люминесценции вполне достаточно до того, чтобы проводить измерения с борта летательного аппарата ($\sim 0,5-1$ км).

Особо следует подчеркнуть, что метод флуоресценции является весьма эффективным для выявления сточных вод, органический природных веществ, в

частности изменения наличия хлорофилла ($\lambda \sim 685\text{nm}$) с чувствительностью лучше 10 мг/м^3 с высоты 100м при использовании He-Ne-лазера с импульсной мощностью в 20 кВт.

Усовершенствованный 4-х-волновый по возбуждению (аргоновый лазер 454,4;539,0;598,7 и 617,8nm) лазерный локатор с минимальной энергией в импульсе 0,6 мДж обнаруживал концентрацию хлорофилла 1мг/м^3 с высоты 100м.

Лазерные локаторы позволяют в реальном масштабе времени определить распространения загрязняющих веществ.

1.2. Средства обнаружения нефтяных загрязнений акваторий

Мониторинг разливов нефти в море традиционными средствами контроля с судов весьма затруднен, а аэросъемки очень дороги, к тому же они бесполезны в ночное время и невозможны при нелетной погоде. Радиолокация из космоса – это в большинстве случаев единственная возможность оперативного мониторинга состояния поверхности обширных районов океана благодаря высокой чувствительности радиолокационного сигнала к поверхностной шероховатости, проникновению сквозь облачный покров, независимости сигнала от условий освещенности, регулярности и оперативности получения информации. Важно, что радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА) обеспечивает высокое пространственное разрешение. Так, радиолокационные изображения ИСЗ ЕРС-2 имеют пространственное разрешение около 25 м, что позволяет точно определять положение и границу нефтяного пятна.

Разлившаяся нефть может существовать в море довольно долгое время в виде пленок, эмульсий и агрегатов. На поверхности моря могут образовываться пленки различной толщины, так как нефть и продукты ее переработки представляют собой сложные смеси. В отличие от поверхностно-активных веществ (ПАВ), нефть не растекается до мономолекулярных слоев, а ее пленки,

как правило, имеют толщину от нескольких сантиметров до долей миллиметра. При растекании легкие фракции, включая токсичные ароматические углеводороды, испаряются, а остаточная пленка имеет повышенную вязкость и не столь низкое поверхностное натяжение, как в начальной стадии разлива. При отсутствии ветра, волн и течений 1 м³ сырой нефти растекается в пятно радиусом 50 м за 1,5 часа.

Нефтяное загрязнение морской поверхности обнаруживается на космических снимках благодаря тому, что нефтяная пленка сдерживает волнение и вызывает появление сликов. Слики (от англ slick – гладкий, блестящий) – это гладкие зеркальные полосы или пятна на поверхности океанов, морей или внутренних водоемов, которые имеют на радиолокационных изображениях практически черный цвет. При легком бризе они могут иметь вид пятен, а при ветре более 5 м/с разбиваются на узкие полосы. Основная причина их появления – пленки различных органических соединений, в том числе поверхностно-активных веществ (ПАВ). Источниками органического вещества в океане являются животные и растения, а также естественные источники сырой нефти. Вещества биогенного происхождения образуют на поверхности моря пленки в несколько мономолекулярных слоев толщиной 10⁻⁷-10⁻⁶ см, скапливаясь в районах высокой биологической активности.

Биогенные пленки – результат жизнедеятельности морских организмов и растений, главным образом, фито и зоопланктона, а также бактерий; они образуются в море при сложных биохимических реакциях в процессе жизнедеятельности и разложения морских организмов, и не могут считаться загрязнениями в прямом смысле слова. Органические пленки сохраняются в море при слабых ветрах в течение продолжительного времени и начинают разрушаться, когда скорость ветра превышает 6-7 м/с. После прекращения действия сильного ветра органические вещества снова выносятся на поверхность и образуют слики.

Нефтяные пленки влияют на поверхностные волны, в частности, уменьшают энергию волн, их дисперсию и крутизну наклонов [6,10]. При

скорости ветра до 3-5 м/с при наличии нефтяной пленки морское волнение не развивается. При скорости ветра до 13 м/с на поверхности моря различимо выглаженное пятно нефтяной пленки – так называемый “слик”. Гладкая поверхность воды отражает падающие на нее электромагнитные волны в сторону от источника излучения (антенны). Отразившись от выглаженной поверхности, радиоволны не возвращаются к радиолокатору, и участок слика отражается на радиолокационном изображении черным тоном.

Резонансное (брэгговское) рассеяние радиоволн происходит в диапазоне гравитационно-капиллярных волн, кинематика которых определяется как действием силы поверхностного натяжения, так и действием силы тяжести. Диапазон длин волн, для которых существенны обе силы, находится в пределах от 0,4 см до 10 см. Российский РСА, установленный на ИСЗ “Алмаз-1”, излучал и регистрировал сигналы в *S*-диапазоне электромагнитного спектра при длине радиоволны 9,6 см, что соответствует частоте 3,1 Гц. Возможности РСА были подтверждены в полевых экспериментах на подспутниковых полигонах с привлечением ИСЗ ЕРС-1, “Радарсат” и СИР-С/Х (SIR-C/X), а также отечественных радиолокационных ИСЗ “Космос-1780” и “Алмаз-1” [7,8]. В 1998-2001 гг. был выполнен ряд крупных методологических проектов по обнаружению и мониторингу нефтяных загрязнений в различных районах Мирового океана.

Основной характеристикой рассеяния объектов в оптическом диапазоне так же, как и в радиодиапазоне, является эффективная площадь рассеяния (ЭПР). При оценке отражающих свойств объектов в оптическом диапазоне практически во всех случаях можно пользоваться методами геометрической оптики, так как их размеры значительно больше длины волны. Кроме того, из-за малости длины волны излучения большинство объектов можно рассматривать как шероховатые поверхности. Поэтому обратное отражение является диффузным и не удовлетворяет релеевскому критерию гладкости. Полагается, что элемент поверхности тела dS освещен равномерно и отражает световой поток диффузно по закону Ламберта.[9]

Для определения идеально рассеивающей поверхности Ламберта используется понятие интенсивности излучения B , называемый так же энергетической яркостью. Она характеризует величину светового потока, излучаемого (рассеиваемого) с единицы поверхности, видимой из точки наблюдения в заданном направлении. Энергетическая яркость тела зависит от направления наблюдения. Так, например, энергетическая яркость плоской площадки dS , наблюдаемой под углом φ к ее нормали, определяется выражением

$$B(\varphi) = dJ(\varphi) / dS \cos \varphi \quad (1.1)$$

где $dJ(\varphi)$ - энергетическая сила света, рассеянного площадкой dS под углом φ к нормали,

φ -угол между нормалью к площадке dS и направлением на приемник излучения.

Существуют рассеивающие поверхности, энергетическая яркость которых постоянна во всех направлениях, и не зависит от направления наблюдения. Такие поверхности называют идеально рассеивающими поверхностями Ламберта. Одной из таких поверхностей является шар радиуса $r_{ш}$. Эффективная площадь рассеяния шара в оптическом диапазоне определяется по формуле

$$\sigma = 4\pi R^2 \Pi_2 / \Pi_1 \quad (1.2)$$

где Π_1 - плотность потока мощности сигнала, падающего на рассеивающее тело,

Π_2 - плотность потока мощности сигнала в точке приема,

R – расстояние между телом и приемным устройством.

В однопозиционном случае

$$P_2 = 2kP_1 r_{ш}^2 / 3R^2 \quad (1.3)$$

где k - коэффициент диффузного отражения.

Подставляя (1.3) в (1.2) получаем

$$\sigma = 2,6k\pi r_{ш}^2. \quad (1.4)$$

Сопоставление уравнения (1.4) с выражением, которое определяет ЭПР шара в радиодиапазоне, показывает, что они отличаются коэффициентом $2,6k$.

В качестве второго примера рассмотрим диффузное отражение от плоского диска. Такой случай имеет место на практике, если луч ОЛС отражается от протяженного объекта, размеры которого превышают поперечное сечение диаграммы направленности ОЛС в плоскости объекта (например, морская поверхность). На объекте высвечивается круг или другая фигура, форма которой зависит от вида поперечного сечения диаграммы. Используя аналогичный подход для однопозиционного случая, получаем

$$P_2 = (kP_1 r^2 / R^2) \cos \gamma \quad (1.5)$$

где r - радиус диска:

γ - угол между направлением падения и нормалью к поверхности диска.

Таким образом, ЭПР диффузно рассеивающего диска площадью $S_D = \pi r^2$

$$\sigma = 4\pi k r^2 \cos \gamma = 4k S_D \cos \gamma \quad (1.6)$$

пропорциональна косинусу угла визирования γ . Выражение (1.6) характеризует ЭПР плоской диффузионной поверхности любой формы с площадью S_D . Следует подчеркнуть, что в приближении Ламберта величина σ

не зависит от длины волны, Однако на практике коэффициент k является функцией длины волны, а также поляризации падающего излучения. Обычно он определяется экспериментально.

Для формирования выходного сигнала оптимального приемника необходимо располагать статистическими характеристиками сигнала, шума, а также их смеси на выходе фотодетектора. Эти характеристики существенно зависят от типа фотодетектора. Рассмотрим эти характеристики на выходе фотоумножителя (ФЭУ). Выходной сигнал ФЭУ с некоторым приближением можно представить в виде последовательности элементарных импульсов одинаковой амплитуды, соответствующих моментам вылета фотоэлектронов сигнала или шума. В этом случае детальное статистическое описание сигнала на выходе ФЭУ может быть задано распределением вероятностей $P_c(n)$ для числа n фотоэлектронов сигнала, эмитированных с фотокатода на интервале наблюдения τ . Аналогичные законы распределения можно ввести для статистического описания шума $P_{ш}(n)$ и смеси сигнала и шума $P_{см}(n)$. Очевидно, что статистические свойства сигнальных фотоэлектронов в первую очередь зависят от статистических свойств падающего светового потока. Для установления этой связи используют теорию фотоэмиссии. На основе этой теории доказано, что функция распределения сигнальных фотоэлектронов может быть описана следующим законом

$$P_c(n) = (\bar{n}_c + 1)^{-1} (1 + 1/\bar{n}_c)^{-n}, \quad (1.7)$$

где \bar{n}_c - среднее число фотоэлектронов сигнала на интервале τ .

Выражение (1.7) называется распределение Бозе-Эйнштейна, которое является частным случаем отрицательно-биномиального распределения.

Рассмотрим статистические характеристики шума. В оптическом диапазоне существуют два вида шумов: внешние и внутренние. Внешние шумы имеют две составляющие: излучение фона и шумы, обусловленные обратным

рассеянием лазерного пучка. Шумы, обусловленные обратным рассеянием, в импульсном режиме работы лазера подавляются благодаря стробированию в приемнике по дальности.

Шумы фона обусловлены рассеянием солнечного света в дневное время. Шумовые фотоэлектроны в этом случае хорошо описываются законом Пуассона.

$$P_{ш}(n) = (\bar{n}_{ш})^n (n!)^{-1} \exp(-\bar{n}_{ш}), \quad (1.8)$$

где $\bar{n}_{ш}$ – среднее число шумовых фотоэлектронов на интервале наблюдения τ .

Это распределение описывает так же фон ночного неба, обусловленный рассеянием света Луны, звезд и справедливо только в случае слабого шума, когда $\bar{n}_{ш} \ll 1$.

Мощность излучения фона описывается выражением

$$P_{\phi} = 0,25\pi D_{прм}^2 B_f \Delta\lambda \Omega_{прм} \eta_{прм}, \quad (1.9)$$

где B_f - спектральная интенсивность (яркость) фона в (Вт/см²мкм ср),

$\Delta\lambda$ - ширина полосы интерференционного фильтра в мкм,

$\Omega_{прм}$ - мгновенный телесный угол поля зрения приемника в ср,

$D_{прм}$ - диаметр приемной антенны ОЛС,

$\eta_{прм}$ - коэффициент пропускания приемной оптической антенны.

При малых углах диаграммы направленности $\theta_{прм}$

$$\Omega_{прм} \approx 0,25\pi\theta_{прм}^2.$$

Тогда энергия фона, принятая за время τ

$$\mathcal{E}_\phi = 0,0625\pi^2 D_{\text{прм}}^2 \theta_{\text{прм}}^2 B_f \Delta\lambda \eta_{\text{прм}} \tau. \quad (1.10)$$

Из выражения (1.10) можно найти среднее число фоновых фотоэлектронов, эмитированных фотокатодом за время τ :

$$\bar{n}_\phi = \mathcal{E}_\phi q / hf, \quad (1.11)$$

Где h - постоянная Планка.

F – частота,

q – квантовая эффективность фотодетектора.

Из выражения (1.11) видно, что для оценки величины \bar{n}_ϕ необходимо знать спектральную интенсивность фона B_f . По данным эксперимента на длине волны $\lambda = 0,7$ мкм спектральная яркость фона имеет значение $10^{-3} - 4 \cdot 10^{-4}$ в дневных условиях и $10^{-10} - 2 \cdot 10^{-8}$ в ночных.

1.3. Структура комплексной системы экологического мониторинга морских акваторий.

Комплексное исследование окружающей среды охватывает широкий диапазон современных методов. В настоящее время в решении экологических задач в морских акваториях и прибрежных зонах нашли широкое применение фотографические, телевизионные, спектральные, лидарные, тепловые, радиолокационные и другие виды наблюдения, которые производятся с наземных, судовых, аэрокосмических и других носителей. По охвату обслуживаемой акватории и объему решаемых задач перечисленные системы мониторинга можно разбить на глобальные, региональные и объектовые (локальные). Системы глобального мониторинга предназначены, для решения экологических и других задач, главным образом используют аэрокосмические носители. Использование

аэрокосмических методов диагностики находит применение в решении задач, определяющих состояние Мирового океана.

Не менее важную роль играют системы регионального мониторинга морей, заливов, озер и других акваторий регионального значения с целью изучения состояния, тематического картографирования и так далее.

Наряду с использованием глобальных и региональных систем мониторинга акваторий и прибрежных зон при решении экологических проблем большое значение придается системам объектного мониторинга. Пространственно-временные масштабы действия систем объектного мониторинга (зона ответственности) существенно меньше региональных, но они имеют большее значение, когда необходима оперативная информация об экологической обстановке при аварийных ситуациях в процессе загрузки и транспортировки нефтепродуктов и других экологически опасных веществ, а также, когда необходимо оперативная оценка гидродинамической обстановки в припортовых и портовых акваториях.

Зона ответственности – это участок акватории и прибрежной зоны, имеющей предельные границы, в пределах которых производится мониторинг окружающей среды. В случае берегового базирования экологического радара границы зоны ответственности лежит на дальности 10 км с центром на терминале.

На центральном этапе создания комплексной системы экологического мониторинга акватории должны быть проанализированы особенности акватории, выделены основные задачи, решаемы объективной системой мониторинга, оценены возможности их решения с использованием существующей и перспективной материально технической базы, а также составлены информационно-ситуационная матрица, которая полезна при определении состава перспективных средств наблюдения и контроля.

Объектная система экологического мониторинга акватории должна решать следующие задачи[12]:

Дистанционное обнаружение загрязняющих выбросов (разливов нефти) на водную поверхность:

Регистрация сливов с суши;

Регистрация аварийных утечек на терминале;

Регистрация аварийных утечек на танкерах;

Регистрация аварийных утечек и сливов с проходящих сторонних плавсредств.

Определение (радиофизическими, физико-химическими и т.п. средствами и методами) типа, состава, координат и размеров загрязнения.

Контроль динамики загрязнений (развитие, перемещение и т.п.).

Прогнозирование развития чрезвычайной ситуации, с использованием данных о ледовой обстановке гидрологических и метеорологических условиях на основе математического моделирования и прогнозирования ситуации.

Объединение данных от различных технических средств.

Структурная схема источников информации для системы экологического мониторинга морской акватории представлены на рисунке (1).

В структуру комплексной системы экологического мониторинга акватории входят активные и пассивные дистанционные системы наблюдения за акваторией. Дистанционные методы зондирования с точки зрения оперативности и осуществления контроля больших акваторий представляют наибольший интерес. К ним относятся пассивные методы зондирования (Радиотеплолокационные и телевизионные) и активные методы зондирования.[13]

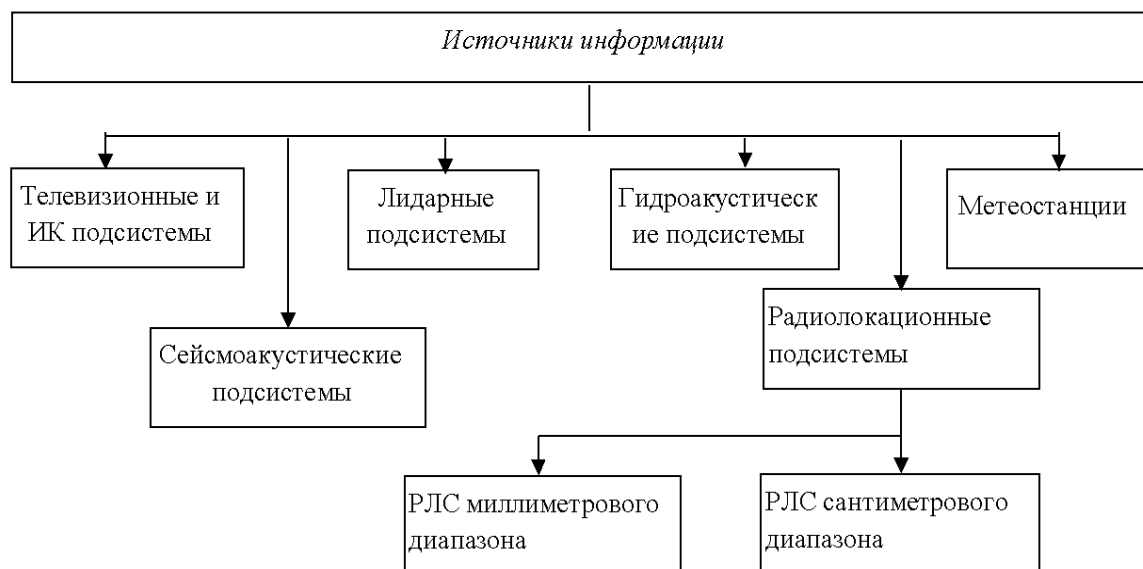


Рисунок 1.1 Структурная схема источников информации для системы экологического мониторинга морской акватории.

Наряду с пассивными способами приема теплового излучения представляют интерес и методы активного зондирования водной поверхности. К таким подсистемам относятся:

- Оптические (лидары)
- Радиолокационные (РЛС)
- Гидроакустические

Лидарные подсистемы – оптические системы, осуществляющие контроль за состоянием водной поверхности при помощи оптического зондирования импульсными или непрерывными световыми потоками.[14]

Радиолокационные подсистемы (РЛП) – предназначены для всепогодного дистанционного мониторинга водной поверхности и решают следующие задачи:

Оценка основных характеристик и параметров волнения и течений на водной поверхности;

Обнаружение и оценка основных параметров льдин и других объектов, мешающих судождению;

Обнаружение аномалий, например, загрязняющих выбросов (разливов нефти) на водную поверхность, определение координат, размеров и контроль динамики загрязнений (развитие, перемещение и т.п.).

Структурно РЛП мониторинга должна состоять из сети РЛС сантиметрового и миллиметрового диапазона. Использование РЛС сантиметрового диапазона электромагнитных волн (λ – от 1 до 10 см) обусловлено сохранением их работоспособности при решении радиолокационных задач при интенсивных осадках. Потери при распространении сигнала для них на трассе с ливневым дождем не превышает 10 дБ на дальностях порядка 10 км, что вполне приемлемо с практической точки зрения. РЛС миллиметрового диапазона волн (λ – от 4 до 8 мм) характеризуются более высокой (на 10 дБ и более) радиолокационной контрастностью (отношение интенсивности отражения чистой и грязной воды) по сравнению с РЛС сантиметрового диапазона, что значительно повышает эффективность экологического мониторинга акваторий. Однако их работоспособность зависит от метеоусловий. В отсутствии интенсивных осадков РЛС мм-диапазона предпочтительнее РЛС см-диапазона для заданной зоны ответственности. Таким образом комбинация из двух диапазонов позволяет осуществлять непрерывный контроль акватории в любых погодных условия.

Радиолокаторы входящие в состав РЛП[15], располагаются в прибрежной зоне, прилегающей к акватории. Наземное расположение радиолокаторов обуславливает малые углы облучения водной поверхности относительно горизонта, что приводит к снижению радиолокационного контраста. Повышение радиолокационного контраста может быть осуществлено путем увеличения энергопотенциала радиолокатора за счет увеличения средней мощности излучения передатчика до 20-30 Вт. Кроме того, повышение радиолокационного контраста при малых углах визирования может быть получено за счет использования пассивных уголковых отражателей (УО), располагаемых на противоположной к радиолокатору прибрежной полосе (если это возможно).

При малых углах облучения водной поверхности значительная часть энергии падающего на нее излучения зеркально отражается. Эффект зеркального отражения значительно возрастет при слабом волнении, а обратное рассеяние практически исчезает, что резко снижает эффективность радиолокационного

обнаружения аномалий. В этой ситуации УО переотражает зеркально отраженную от водной поверхности энергию радиоволны в сторону радиолокатора, увеличивая тем самым на входе его приемника мощность сигнала, величина которой характеризует радиолокационный контраст водной поверхности. Количество УО определяется конфигурацией береговой черты.

Мощность отражения от водной поверхности и радиолокационный контраст загрязнений возрастает с увеличением угла скольжения. Поэтому с целью повышения эффективности экологического мониторинга акватории антенны радиолокаторов следует устанавливать на максимально возможной высоте, используя естественные возвышенности и специальные мачты и вышки.

Гидроакустические подсистемы – используются для изучения глубинного строения толщи воды и дна, а также для определения и локации мест скопления пролитых нефтепродуктов. Гидроакустические средства наблюдения располагаются под водой. При использовании гидроакустических систем в качестве подсветки зоны раздела воды-воздуха можно производить обнаружение пятен нефти.

Метеостанции – используется для наблюдения за характеристиками и параметрами производного слоя тропосферы.

При совместной обработке данных различных подсистем анализируются:

Оптические изображения от сети телекамер;

Тепловые портреты акватории от сети инфракрасных камер;

Портреты акватории полученные лазерными локаторами;

Результаты поверхностно – частотно-временной обработки сейсмо-акустических сигналов;

Результаты физико-химических проб воды

Метеорологические условия

Структурная схем связи между центральным процессом, ЛПР и подсистемами показана на рисунке (2).

Обнаружение и контроль нефтяных пленок производится с использованием как автоматических средств, так и с помощью оператора, анализирующего наблюдаемые на мониторах радиолокационные изображения участков зоны ответственности. Необходимость привлечения человека (ЛПР –лицо принимающее решение) наряду с использованием высокоэффективных технических средств обусловлена важностью задачи и высокой ответственностью за принимаемые решения.

По результатам совместного анализа указанных данных формируется заключение о наличии или отсутствии загрязнений на контролируемом участке акватории, количестве и качественном составе загрязняющих веществ. Заключение транслируются службам предотвращения и ликвидации загрязнений, а также передаются обратно на первичные информационные подсистемы экологического мониторинга.[16]

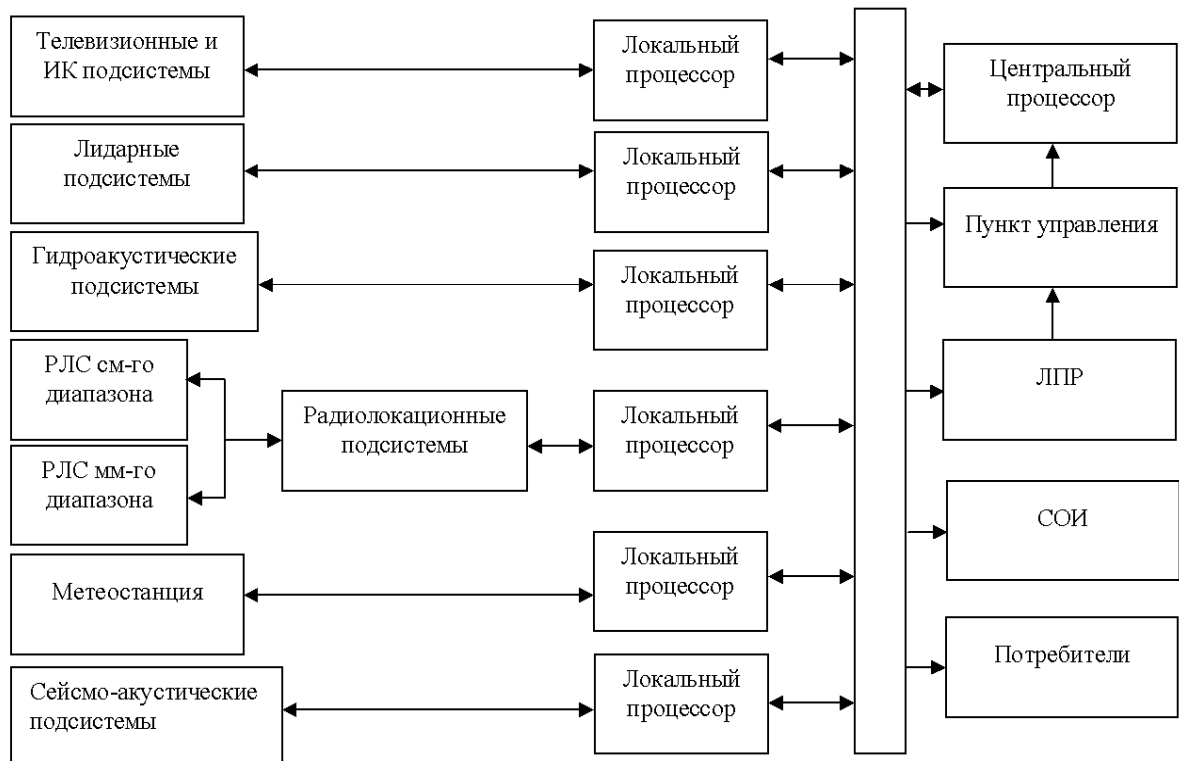


Рисунок 1.2 Структурная схем связи между центральным процессом, ЛПР и подсистемы.

1.4. Структура информационной системы оперативной оценки экологического состояния морских акваторий.

Задачи информационной системы оперативной оценки экологического и техногенного риска

С тех пор, как стали случаться аварии с танкерами и нефтяными морскими платформами, загрязнения прибрежной зоны стало проблемой для прибрежных государств. Поэтому большую значимость приобрели раннее обнаружение и устранение нефтяных разливов. В настоящее время нефтяные слики обнаруживаются средствами авиации, после чего специальные суда направляются на указанное место, и начинается их работа по ликвидации разлива. Но авиация не может находиться над разливом постоянно, поэтому необходимые перемещения судов-ликвидаторов производятся только при оптической видимости загрязнения. В дневное время достаточно света, чтобы видеть плавающую на морской поверхности нефть. Но в сумерках и в тумане невозможно оптимизировать позицию судна относительно нефтяного пятна и восстановительные работы должны прекращаться. Именно на обеспечение круглосуточных восстановительных работ нацелена разработка береговой или судовой системы обнаружения нефтяных сликов.

Основным назначением информационной системы является постоянный и/или периодический контроль морской акватории портов или ограниченных акваторий. Каждая система должна иметь обязательный набор функций, без которого невозможно решать задачи экологического мониторинга. К таким универсальным функциям, прежде всего, относятся:

- панорамный обзор акватории в реальном времени с максимальной разрешающей способностью,
- быстрый поиск «новых» загрязнений и сопровождение старых,
- измерение их параметров, определение степени опасности аномалий для окружающей среды,
- создание пополнение и гибкая настройка баз данных,

– возможность быстрой связи с лицами, принимающими решения по локализации и утилизации загрязнений.

Вышеперечисленные функции необходимы для решения, как задач своевременного обнаружения аномалий, так и для задач постоянного экологического мониторинга, выполняемого региональными и федеральными службами.

Основное содержание наблюдения за морской поверхностью состоит в обнаружении аномалий (разливов, нефти, не санкционированного сброса с судов и т.д.), установление географических координат их источников, определение параметров разливов (площади, направления движения и т.д.).

Требования к информационной измерительной системе оперативной оценки экологического и техногенного риска

Развитие цифровой техники и других областей высоких технологий решительным образом повлиял на развитие средств дистанционного обнаружения и измерения параметров морской поверхности, в том числе, и обнаружение природных и техногенных аномалий. Развитие твердотельных малогабаритных РЛС, лидаров, инфракрасных средств обнаружения позволяет создавать территориально-распределенных систем экологического мониторинга.

Основные требования, предъявляемые к таким системам, сводятся к следующему:

- наличие универсальных функций мониторинга,
- ошибка обнаружения и определения местоположения аномалий должна быть минимальной,
- система должна обеспечивать определение основных параметров аномалий (тип вещества, его местоположение, размеры),
- определить скорость и направление распространения вещества,
- система должна состоять из минимально возможного числа, как постов наблюдения, так и аппаратуры,

- затраты на изготовление, развертывание и эксплуатацию такой системы должны быть минимальными,

Необходимое число станций экологического дистанционного мониторинга определяется площадью акватории, береговым рельефом и финансовыми возможностями служб, которыми они принадлежат. В идеальном случае развертывается одна стационарная станция, зона действия которой контролирует всю акваторию. Могут иметь место так же мобильные станции, установленные на морских катерах, которые в необходимых случаях могут быть быстро развернуты в нужных районах, в том числе и вне зоны действия стационарного поста.

Комплексное исследование окружающей среды охватывает широкий диапазон современных методов. В настоящее время в решении экологических задач в морских акваториях и прибрежных зонах нашли широкое применение фотографические, телевизионные, спектральные, лидарные, тепловые, радиолокационные и другие виды наблюдения, которые производятся с наземных, судовых, аэрокосмических и других носителей.

Наряду с использованием глобальных и региональных систем мониторинга акваторий и прибрежных зон при решении экологических проблем большое значение придается системам объектового мониторинга. Пространственно-временные масштабы действия систем объектового мониторинга (зона ответственности) существенно меньше региональных, но они имеют большее значение, когда необходима оперативная информация об экологической обстановке при аварийных ситуациях в процессах загрузки и транспортировки нефтепродуктов и других экологически опасных веществ, а также, когда необходимо оперативная оценка гидродинамической обстановки в припортовых и портовых акваториях.

Зона ответственности – это участок акватории и прибрежной зоны, имеющий определенные границы, в пределах которых производится мониторинг окружающей среды. В портовых акваториях границы зоны ответственности составляют около 10 км с центром на терминале.

К системам, удовлетворяющим перечисленным требованиям, можно отнести радиолокационные станции сантиметрового и миллиметрового диапазонов волн, телевизионные системы, инфракрасные системы

Основным измерительным звеном дистанционной системы является радар сантиметрового или миллиметрового диапазона волн со средствами расширения возможностей стандартного корабельного навигационного радара. Информация извлекается из отражений от моря, которые обычно подавляются на радиолокационных изображениях. Система может работать с судна, прибрежной платформы или с береговой мачты. На каждом обороте антенны, за время около секунды, оцифровывается и загружается в компьютер радиолокационное изображение выбранного оператором участка морской поверхности. Может быть отображена серия изображений, полученных за несколько оборотов антенны, для последующего наложения при компенсации возможных перемещений судна.

Для выполнения поставленных требований мониторинга система должна состоять РЛС сантиметрового и миллиметрового диапазонов. Использование РЛС сантиметрового диапазона электромагнитных волн (λ – от 1 до 10 см) обусловлено сохранением их работоспособности при интенсивных осадках. Потери при распространении сигнала для них на трассе с ливневым дождем не превышает 10 дБ на дальностях порядка 10 км, что вполне приемлемо с практической точки зрения. РЛС миллиметрового диапазона волн (λ – от 0,8 до 8 мм) характеризуются более высокой (на 10дБ и более) радиолокационной контрастностью (отношение интенсивности отражения чистой и грязной воды) по сравнению с РЛС сантиметрового диапазона, что значительно повышает эффективность экологического мониторинга акваторий. Однако их работоспособность зависит от метеоусловий. В отсутствие интенсивных осадков РЛС миллиметрового диапазона предпочтительнее РЛС см-диапазона для заданной зоны ответственности. Таким образом, комбинация из РЛС двух диапазонов позволяет осуществить непрерывный контроль акватории в любых погодных условиях.

Радиолокаторы, входящие в состав РЛП, должны располагаться в прибрежной зоне, прилегающей к акватории. Наземное расположение радиолокаторов обуславливает малые углы облучения водной поверхности относительно горизонта, что приводит к снижению радиолокационного контраста. Повышение радиолокационного контраста может быть осуществлено путем увеличения энергопотенциала радиолокатора за счет увеличения средней мощности излучения передатчика до 20, 30 Вт.

Мощность отражения от водной поверхности и радиолокационный контраст загрязнений возрастают с увеличением угла скольжения. Поэтому с целью повышения эффективности экологического мониторинга акватории, антенны радиолокаторов следует устанавливать на максимально возможной высоте, используя естественные возвышенности и специальные мачты или вышки.

Радиолокационный сенсор обеспечивает проведение непрерывного надзора, используя обработку временных серий изображений водной поверхности. Сенсор может быть задействован там, где другие методы непрерывного надзора или не реальны, или чрезвычайно дороги. Временная серия радиолокационных изображений (РЛИ) фиксированной области особенно полезна при получении динамических характеристик объектов (перемещений и изменений формы пятна), например, для обеспечения сопровождения нефтяного слика при мониторинге морской поверхности. Последовательности изображений содержат также ценную информацию о временных статистических свойствах морской поверхности. Эта информация способствует повышению вероятности обнаружения небольших целей при наличии помех от загрязненной морской поверхности.

Основные принципы создания автоматизированной системы дистанционного мониторинга водной среды.

В основе современной системы экологического мониторинга должен преимущественно лежать принцип прогнозирования (своевременного предупреждения) нежелательной ситуации, а не реагирование на уже сложившуюся ситуацию. Нужно также учитывать тот факт, что негативное

воздействие нефтяного загрязнения на водную среду носит комплексный характер, а степень воздействия вредных веществ на гидробионтов имеет широтную, температурную и другие зависимости. При этом нужно учесть, что морские экспедиционные работы в настоящее время стоят очень дорого по сравнению с эксплуатацией стационарных станций наблюдения. Прокладка кабелей, по которым информация с донных или плавучих станций могла бы передаваться на береговой пост контроля, также является очень дорогой. Однако для мониторинга нефтяных загрязнений необходимо проведение непрерывных наблюдений во времени, исходя из продуманного распределения измерительных средств в пространстве, поэтому информационная система о состоянии водной среды должна быть дистанционной, распределенной, многосенсорной и автоматизированной. Основными принципами работы такой системы должны быть оперативность и автоматизация обработки данных. Оперативность подразумевает, что данные на центральный пост должны поступать в реальном масштабе времени. Использование для целей связи дистанционных датчиков с центральным береговым постом, например, гидроакустической связи неэффективно из-за ее малой пропускной способности и большой потребляемой мощности. Поэтому для целей связи необходимо использовать радиоканал или спутниковую связь. Для этого требуются поверхностные трансляционные буи, которые должны быть устойчивы к штормам, дрейфующим льдам и возможным столкновениям с судами.

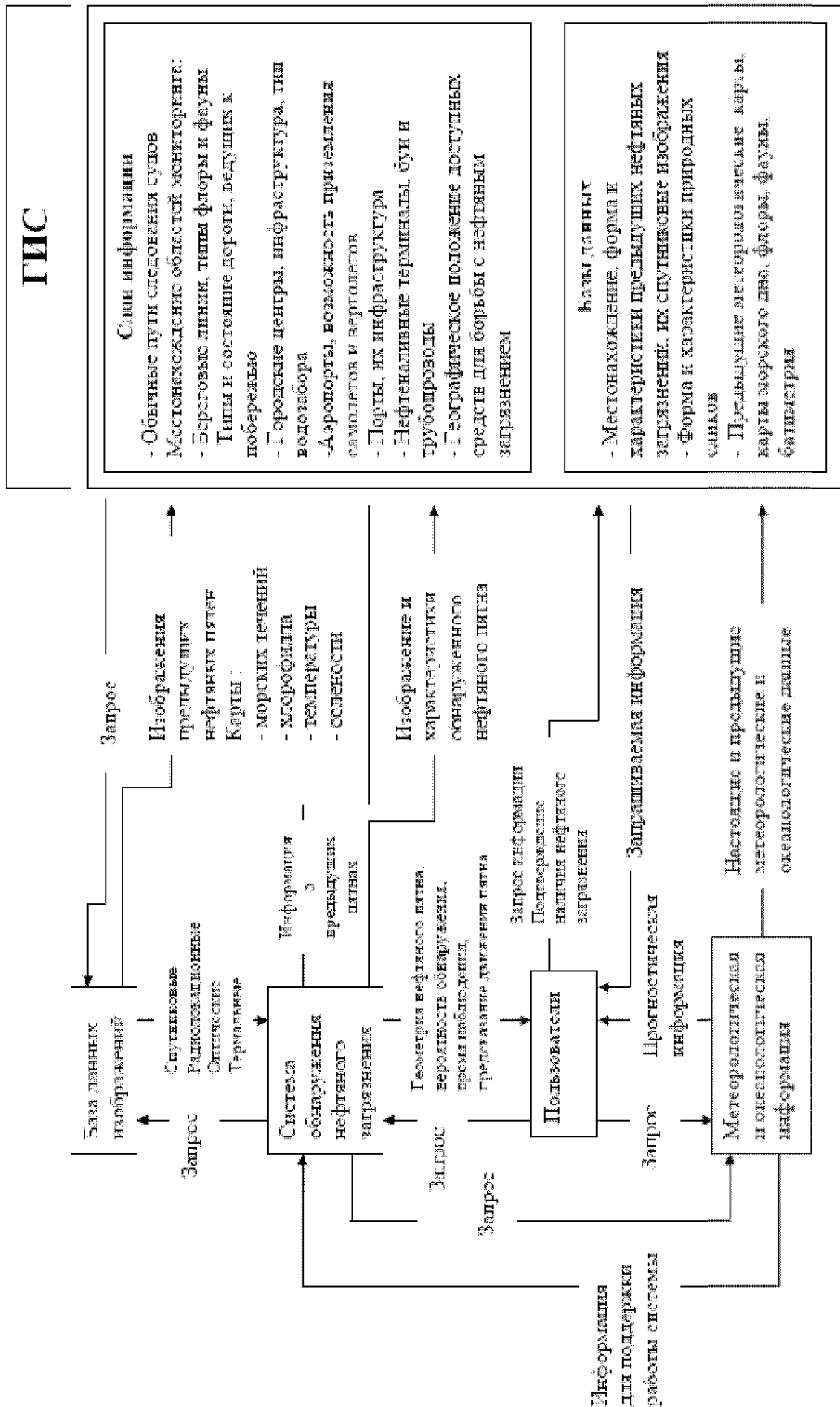
Оперативность работы информационной системы дистанционного мониторинга водной среды подразумевает также сокращение временных рамок принятия решения по классификации наблюдаемого объекта. Поэтому необходимо автоматизировать не только процесс сбора данных, но и алгоритмы классификации объекта наблюдения, чтобы привлечь внимание человека-оператора только к объектам действительно угрожающим экологическому состоянию наблюдаемой территории и еще на этапе автоматизированной обработки данных отсеять объекты, не угрожающие экологическому состоянию

зоны ответственности. Для автоматизации алгоритмов обработки сигналов и классификации объектов нужно использовать методы интеграции данных на различных уровнях – на уровне сигналов, на уровне пикселей, на уровне параметров, на уровне решений.

Структурная схема автоматизированной информационной системы дистанционного мониторинга водной среды изображена на Рисунке 3.

Она позволит решить следующие задачи:

- Создать информационную базу водной экосистемы.
- Систематизировать экологическую информацию, используя структуру информационной базы.
- Оперативно оценить причины развития экологических кризисов в водной среде, сузить зону их оперативного поиска, разработать научно обоснованные природоохранные мероприятия.
- Оперативно оценить возможные последствия экологической катастрофы.
- Оценить остроту экологической ситуации в водоеме.
- Разработать прогноз возможных экологических изменений в водной среде



ГИС

Список информации

- Обычные пути следования судов
- Местонахождение областей мониторинга:
- Береговые линии, типы флоры и фауны
- Типы и состояние дорог, ведущих к побережью
- Городские центры, инфраструктура, тип водозабора
- Аэропорты, возможность приземления самолетов и вертолетов
- Порты, их инфраструктура
- Нефтекапитальные терминалы, буи и трубопроводы
- Географическое положение доступных средств для борьбы с нефтяным загрязнением

Изы данных

- Местонахождение, форма и характеристики предыдущих нефтяных загрязнений, их спутниковые изображения
- Форма и характеристики природных сликов
- Предулучшие изображения иские карты, карты морского дна, флоры, фауны, батиметрия

Рисунок 1.3. Схема автоматизированной системы дистанционного мониторинга водной среды

В автоматизированной системе вся вторичная обработка должна производиться в цифровом виде с помощью компьютеров. Все материалы, получаемые от отдельных подсистем должны представляться в виде, пригодном для использования в составе пространственных баз данных геоинформационных систем (ГИС).

При обработке и объединении сигналов должны применяться методы автоматизации тематической обработки, автоматизации дешифрирования, которые, однако, не рассматриваются как методы получения окончательного результата. Окончательные решения принимает человек.

Сравнительный анализ способностей дистанционных измерительных подсистем обнаруживать нефтяное загрязнение и определять его параметры

Протяженные нефтяные пятна на морской поверхности наносят серьезный биологический и экономический ущерб. Одной из задач экологического мониторинга является определение их местонахождения и протяженности. Дистанционное зондирование играет при решении этих задач очень важную роль. Для обнаружения нефтяных загрязнений часто используются датчики видеонаблюдения, отличающиеся от человеческого глаза или обыкновенной фотографии. Обычно они устанавливаются на самолете. Попытки использовать данные спутникового наблюдения для идентификации нефтяных загрязнений не всегда успешны, и обычно сводятся к определению очертаний уже зафиксированных нефтяных пятен [2]. Вообще, датчики, расположенные не на берегу, имеют очень ограниченное применение для мониторинга нефтяных загрязнений морской поверхности.

Рассмотрим различные типы датчиков, которые могут применяться в системе дистанционного мониторинга водной поверхности и оценим их способность обнаруживать и определять параметры нефтяных загрязнений.

Для обозначения частотных радиодиапазонов датчиков в литературных источниках используются буквенные обозначения, которые приведены в таблице

1. Работа в каждой частотной области имеет свои преимущества и недостатки и применяется в зависимости от конкретной решаемой задачи.

Таблица 1 Частотные диапазоны

Обозначение диапазона	Диапазон волн	Длины волн, м	Волновое число, m^{-1}	Частоты, ГГц
L-band	Дециметровый	0,214 – 0,176	29 – 36	1,4 – 1,7
S-band	Дециметровый	0,157 – 0,111	40 – 57	1,9 – 2,7
C-band low	Сантиметровый	0,088 – 0,057	71-110	3,4 – 5,25
C-band high	Сантиметровый	0,052 – 0,042	121-150	5,725 – 7,075
X-band	Сантиметровый	0,041 – 0,036	153-174	7,25 – 8,4
Ku-band	Сантиметровый	0,028 – 0,02	224-314	10,7 – 14,8
K-band	Сантиметровый	0,019 – 0,01	331-628	15,4 – 27,5
Ka-band	Миллиметровый	0,01 – 0,006	628-1046	27 – 50
W-band	Миллиметровый	0,005 – 0,003	1256-2094	65 – 110

Датчики, работающие в области видимого спектра. Фото- и видеокамеры широко применяются для обнаружения нефтяных загрязнений из-за их низкой стоимости. В последние годы фото- и видеонаблюдения были подкреплены системой GPS (Global Positioning System) [3], которая осуществила привязку

видеоизображения к координатам местности и увеличила полезность получаемых от датчиков данных.

В видимой области электромагнитного спектра (от 400 до 700 нм) нефть имеет большую отражательную способность, чем вода, а также ограниченную способность к поглощению излучения.

Тонкие пленки (sheen) кажутся «серебряными» и отражают свет в широкой области спектра вплоть до голубого. Так как в области спектра от 500 до 600 нм не зафиксировано никаких изменений при наличии нефтяного пятна [4], этот диапазон обычно фильтруется для улучшения контраста. Вообще говоря, у нефти нет специфических спектральных характеристик, которые позволяли бы отличить ее от фона наблюдаемой поверхности, поэтому методы, основанные на выделении особых областей спектра, не улучшают способности датчика по обнаружению нефти [5]. Было установлено, что наибольший контраст в видимой области спектра можно достичь при установке камеры наблюдения под углом Брюстера (53° от вертикали) при использовании горизонтально поляризованного фильтра, который пропускает только свет, отраженный от поверхности воды. Современные видеокамеры могут работать и при низкой освещенности (в темное время суток).

Сканеры также используются в видимой области спектра. Вращающееся зеркало или призма охватывают сектор обзора и направляют свет на детектор. До появления приборов зарядной связи (ПЗС детекторов) такие датчики обеспечивали гораздо большую чувствительность и селективность, чем видеокамеры. Другим преимуществом сканеров является то, что сигналы можно оцифровывать и обрабатывать перед тем, как выводить на дисплей. При использовании ПЗС блока формирования изображения можно без сканирования осуществлять оцифровку и запись данных, каждый элемент которых расположен по своему направлению сектора обзора. Этот тип датчика обладает устойчивостью к абберациям и ошибкам, т.к. все данные записываются одновременно для данного перпендикуляра к направлению пролета самолета.

Использование датчиков в видимом спектральном диапазоне обычно сводится к регистрации пятен, т.к. в этом случае отсутствует механизм классификации нефтяных загрязнений. Поэтому высока вероятность ложной тревоги из-за присутствия на зондируемой поверхности природных slickов. Поэтому можно сделать вывод о том, что использование датчиков, работающих в видимой области спектра, имеет ограничения, хотя и представляет собой экономичный способ документирования темных объектов на исследуемой поверхности.

Инфракрасные датчики. Нефть, будучи толстой в оптическом смысле, поглощает солнечную энергию и излучает ее часть в виде тепла главным образом в спектральной области от 8 до 14 мкм. На инфракрасных изображениях толстая нефтяная пленка выглядит яркой, нефтяная пленка средней толщины изображается приглушенными тонами, а тонкие нефтяные пленки (sheens) не детектируются. Опытным путем установлено, что переход между ярким и тусклым цветом находится между толщинами нефтяной пленки от 50 до 150 мкм, а самая тонкая обнаруживаемая нефтяная пленка имеет толщину от 20 до 70 мкм [6]. Инфракрасные датчики, в большинстве случаев, не обнаруживают эмульсии (вода в нефти), видимо, из-за их высокой теплопроводности, так как эмульсии обычно содержат до 70% воды и не регистрируют температурных различий.

Инфракрасные камеры получили широкое распространение, хотя их недостатком является необходимость охлаждения для предотвращения термического шума, который может подавить полезный сигнал. Для охлаждения обычно используется жидкий азот, который обеспечивает четырехчасовое рабочее состояние. В настоящее время более компактные датчики используют охладители замкнутого цикла или охладители Джоуля-Томпсона, охлаждающий эффект которых обеспечивается расширяющимся газом. Так как с этим типом охладителя переводится газовый цилиндр или компрессор, то он не нуждается в обслуживании и дозаправке несколько дней подряд. Многие новые инфракрасные обнаружители не нуждаются в охлаждении.

В [7] описывается инфракрасный датчик, использующий различную отражательную способность воды и нефти в диапазоне длин волн 2,5 и 3,1 мкм.

Опыты по использованию инфракрасного датчика в среднем диапазоне длин волн (от 3,4 до 5,4 мкм) для обнаружения нефтяного пятна TENYO MARU показали его неспособность выявить нефтяное загрязнение в этом диапазоне длин волн, хотя были видны следы от прохода кораблей [8].

Более глубокое изучение работы тепловых инфракрасных датчиков в обычно используемом диапазоне длин волн от 8 до 14 мкм показало, что в этой области нет спектральной информации [9]. А испытания нескольких инфракрасных систем показали, что, когда нефть распределена по поверхности в виде полос и пятен неправильной формы, для решения задачи обнаружения крайне важно пространственное разрешение. Эмульсии не всегда обнаруживаются с помощью инфракрасных датчиков, а камеры, работающие в диапазоне длин волн от 3 до 5 мкм, имеют только косвенное применение [10]. Информация об относительной толщине нефтяной пленки, полученная с помощью инфракрасных датчиков может быть использована непосредственно для сбора нефти. Обнаружение нефтяных пятен с помощью датчиков инфракрасного излучения, однако, затрудняется при наличии ложных целей – кромки берега, береговой растительности.

Инфракрасные датчики имеют среднюю стоимость и являются сейчас главным инструментом дистанционного обнаружения нефтяных пятен.

Ультрафиолетовые датчики. Датчики в ультрафиолетовом диапазоне длин волн используются для картографирования тонких нефтяных пятен (sheens), так как они имеют высокую отражательную способность в этом диапазоне волн даже при малой толщине ($< 0,01$ мкм). Наложение изображений, полученных с помощью ультрафиолетовых и инфракрасных датчиков часто используется для создания карты относительных толщин нефтяных пятен. Ультрафиолетовые датчики также подвержены помехам, причем они часто отличаются от помех, которым подвержены инфракрасные датчики, поэтому комбинирование

изображений, полученных с помощью датчиков обоих типов, может улучшить качество распознавания нефтяных пятен по сравнению с применением датчика только одного типа.

Лазерные рентгеноскопические датчики (флуоросенсоры) являются активными сенсорами, использующими тот факт, что определенные смеси в нефтяных материалах поглощают ультрафиолет и в них возникает возбуждение электронов. Возбуждение электронов вызывает рентгеновское излучение главным образом в видимой части спектра. Так как немногие другие смеси обладают этим свойством, рентгеновское излучение является показателем присутствия нефти. Природные флуоресцирующие материалы, такие как хлорофилл, излучают в другом диапазоне длин волн, нежели нефть и это помогает избежать перепутывания. Так как различные типы нефтяных материалов имеют немного различные интенсивности излучения и вид спектра, то можно различать классы нефти при идеальных условиях наблюдения [11].

Большинство лазерных флуоросенсоров, используемых для обнаружения нефтяных пятен, работают в диапазоне длин волн от 300 до 355 нм, в котором существует широкий спектр рентгеновского излучения органических материалов, центрированный на частоте, соответствующей длине волны 420 нм (так называемая «желтая субстанция», излучение которой легко отфильтровывается). Хлорофилл имеет пик излучения на длине волны 685 нм. Сырая нефть излучает на длинах волн от 400 до 650 нм с пиком спектра в области длин волн порядка 480 нм.

Другое явление, известное как рамановское рассеяние, касается передачи энергии между падающим светом и молекулами воды. Молекулы воды поглощают некоторую часть энергии и превращают ее во вращательно-колебательное движение и излучают световую энергию в объеме меньшем, чем энергия вращательно-колебательного движения молекул. Рамановский сигнал для воды фиксируется на длине волны 344 нм при длине волны падающего света 308 нм (XeCl лазер). Рамановский сигнал воды полезен для калибровки длины волны

флуоросенсора, а также в некотором роде для оценки толщины нефтяной пленки, т.к. сильное поглощение нефтью подавляет рамановский сигнал воды пропорционально толщине пленки [12]. Точка, в которой рамановский сигнал полностью подавляется, зависит от типа нефти, т.к. каждый тип имеет свою способность поглощения.

Принцип флуоресценции можно также использовать для узкого круга задач, например, для обнаружения нефтяных пятен в ночное время в более узком диапазоне частот [13] или как пассивный датчик, использующий солнечное излучение вместо лазерного, хотя этот инструмент имеет недостатки, такие как ограниченная способность к обнаружению и низкое отношение сигнал-шум [14].

Лазерные флуоросенсоры имеют значительный потенциал для развития, т.к. только они могут различать загрязненные нефтью водоросли и обнаруживать различные типы нефти на побережьях, а также в условиях наличия льда и снега.

Микроволновые радиометры. Океан излучает в микроволновом диапазоне (фактор эмиссии 0,4), а нефть на его поверхности излучает еще более сильно чем вода (фактор эмиссии 0,8) [14] в этом же диапазоне, поэтому на изображениях, полученных от микроволновых радиометров нефть выглядит как яркий объект на более темном фоне. Так как сигнал изменяется при изменении толщины нефтяной пленки, теоретически пассивный датчик можно использовать для ее измерения. Однако этот метод на практике не так часто применяется, т.к. нужно знать некоторые параметры окружающей среды и нефти, и кроме этого, принимаемый сигнал зависит от толщины пленки циклически. Данная мощность сигнала включает в себе любой из двух или трех сигналов зависящих от толщины пленки в пределах одного пятна. Для решения этой проблемы устанавливается ряд радиометров сканирующих свои частоты. Излучение энергии в микроволновом диапазоне больше, когда эффективная толщина нефтяной пленки равна нечетному кратному $\frac{1}{4}$ длины волны наблюдаемого излучения [15]. Наличие биологического материала на наблюдаемой поверхности также вносит помехи в полезный сигнал и снижает отношение сигнал-шум, требуемое для обнаружения

нефтяного пятна. Кроме этого недостатка, также трудно достигнуть высокого пространственного разрешения. Работы, проводившиеся в мультиспектральных диапазонах [16], [17] показали низкую корреляцию сигнала с толщиной нефтяной пленки, и было высказано предположение, что кроме толщины нефтяной пленки на яркость поверхности влияют другие факторы. В этих работах также высказано предположение, что одноканальный датчик можно использовать как всепогодный измеритель относительной толщины нефтяной пленки. В недавно разработанном методе микроволновой радиометрии для определения толщины нефтяной пленки измеряется поляризационный контраст двух сигналов в ортогональных поляризациях [18]. В общем, можно сказать, что пассивные микроволновые радиометры хороши как всепогодные датчики, но ненадежны в качестве измерителей толщины нефтяной пленки.

Радар. Капиллярные волны морской поверхности отражают энергию радиолокационного излучения, производя «яркое» изображение, известное как «шум моря». Так как нефть на морской поверхности гасит некоторые из капиллярных волн, присутствие нефти на морской поверхности можно распознать «темный объект» среди яркого изображения. Однако существует много ложных объектов, вызывающих подобный эффект на радиолокационном изображении морской поверхности – слики естественного происхождения. Несмотря на это существенное препятствие для использования радара, он является важным инструментом дистанционного мониторинга, т.к. является единственным датчиком, который можно использовать для обзора обширных областей и одним из немногих сенсоров, способных «видеть» в ночное время и при неблагоприятных погодных условиях. Эксперименты показали, что сигнал в полосе X показывает лучшие результаты в смысле обнаружения нефтяного пятна, чем радиолокационные сигналы в полосах L и C. Кроме того, было установлено, что вертикальная поляризация антенны для передачи и приема сигнала (V,V) показывает лучшие результаты, чем другие антенные конфигурации [19], [20]. Использование радара для обнаружения нефтяных пятен также зависит от

состояния моря. Спокойное море не производит достаточно шума, чтобы контрастировать с нефтяным пятном, а бурное море сильно рассеивает энергию обратного излучения и делает обнаружение невозможным. Как видно из Рисунок 1.2, для обнаружения нефтяного пятна скорость ветра должна лежать в пределах от 1,5 до 6 м/с. Эти пределы ограничивают окно условий окружающей среды для обнаружения нефтяного пятна с помощью радара. При больших скоростях ветра становится невозможным отличить нефтяное пятно от природного слика.

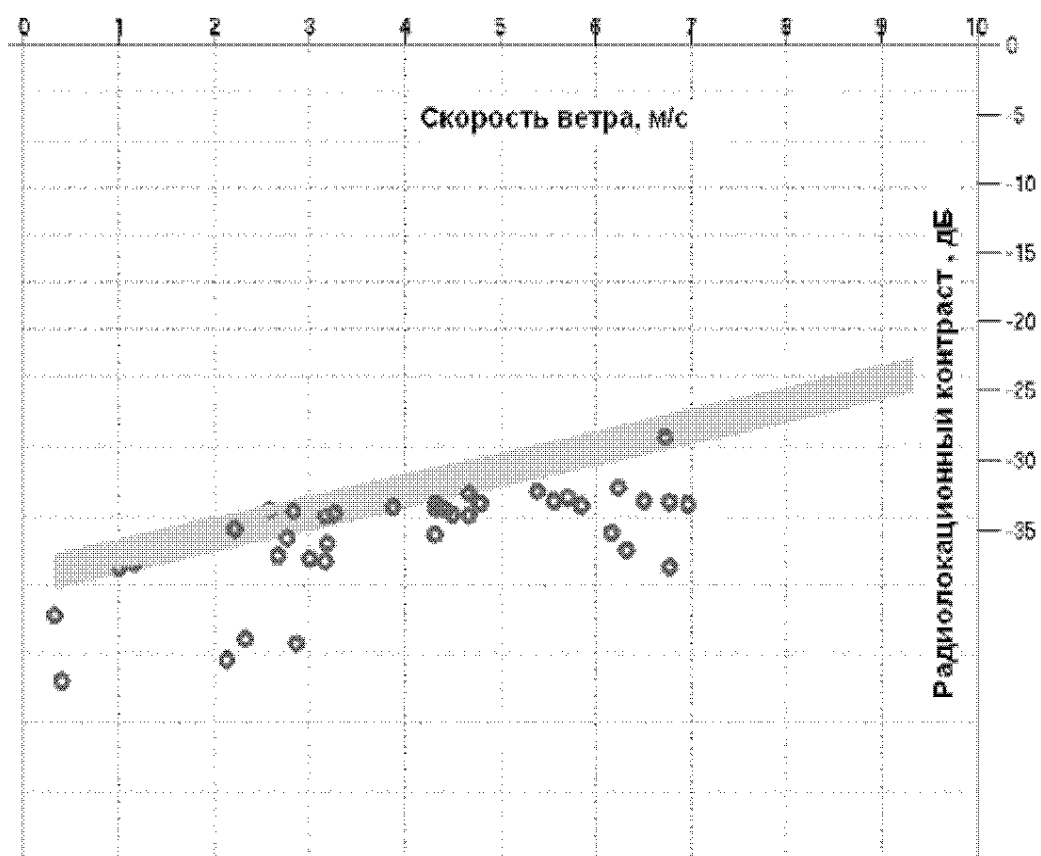


Рисунок 1.4. Зависимость радиолокационного контраста нефтяного пятна от скорости ветра

В L-диапазоне природные слики показали большее поглощение радиолокационного излучения, чем нефтяные пятна. Радар также можно использовать для измерения течений и предсказания движения нефтяного пятна.

Радары, размещенные на берегу или судовые радары, в отличие от радаров, размещенных на самолетах, имеют дополнительный недостаток низкой высоты,

который сокращает область мониторинга пределами от 8 до 30 км в зависимости от высоты антенны.

Экспериментально полученные результаты [21] свидетельствуют, что при использовании полосы С (длина волны излучения 5 см) контраст между нефтяным загрязнением и фоном уменьшается при увеличении угла обзора, о чем свидетельствуют данные на рисунке 1.5.

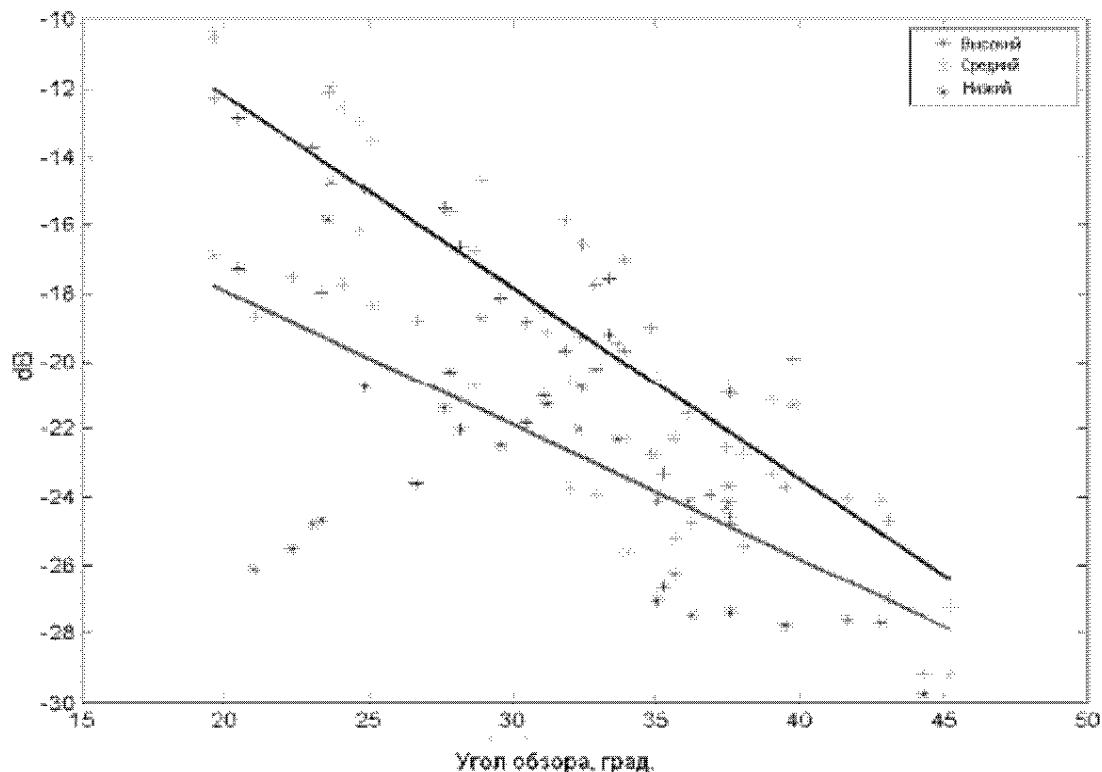


Рисунок 1.5. Зависимость радиолокационного контраста нефтяного пятна на фоне морской поверхности как функция угла обзора.

Микроволновые скаттерометры измеряют рассеяние целью микроволновой энергии и работают в Ку диапазоне частот. Присутствие нефти уменьшает рассеяние микроволновой энергии также как и в случае радара, а ложные цели также вносят неопределенность в решение задачи обнаружения. Микроволновые скаттерометры имеют область обзора, сходную с оптическими датчиками и работают в геометрии надира, т.е. направлены прямо вниз. Недостатком скаттерометров являются слабые характеристики изображения.

Датчики толщины пленки. В настоящее время не существует надежных методов точного измерения толщины нефтяной пленки. Некоторые из датчиков толщины обеспечивают относительные данные о том, является ли нефтяная пленка толстой или тонкой. Подавление рамановского пика в случае флуоросенсорного лазера показывает хорошие результаты в случае тонких пленок, но не для толстых, по крайней мере, в случае одной частоты возбуждения. Были безуспешные попытки калибровать толщину пленки для инфракрасных датчиков. Если предположить, что температура пятна, видимого в инфракрасном диапазоне зависит от типа нефти, угла солнечного облучения и погодных условий, то становится ясно, что инфракрасный датчик нельзя использовать в качестве калибровочного инструмента для измерения толщины нефтяной пленки. Так как точный метод калибровки отсутствует, то нельзя, следовательно, калибровать и существующее оборудование. Использование сорбирующих методов для измерения толщины пленки нефти дает очень разные результаты. Использование микроволновых радиометров может давать значение нескольких толщин. Было предложено использовать совокупность электрических, оптических и акустических методов для измерения толщины нефтяной пленки. Два многообещающих метода были исследованы в лабораторных экспериментах. В первом методе, известном как «термальное отображение», использовался лазер для нагрева области нефтяного пятна и результирующие профили температуры, созданные над малой областью, расположенной рядом с областью нагрева изучались с помощью инфракрасной камеры. Эти температурные профили зависят от толщины нефтяной пленки. Более перспективный метод использует лазерную акустику. Лазерный ультразвуковой датчик толщины нефтяной пленки состоит из трех лазеров, один из которых совмещен с интерферометром для точного измерения. Измерительный процесс начинается с создания термального импульса в слое нефти при поглощении мощного CO_2 импульса лазера. Быстрое распространение нагрева в нефти происходит вблизи поверхности, в которой поглощается лазерный луч, что вызывает ступенчатый подъем образца

поверхности и широкополосный акустический импульс высокой частоты (~ 15 МГц для нефти). Акустический импульс проходит вниз через нефтяную пленку, пока не достигает поверхности нефть-вода, где он частично пропускается дальше и частично отражается в сторону поверхности нефть-воздух, где он частично смещает поверхность нефти. Время, требуемое для этого процесса, является функцией толщины и акустической скорости нефтяной пленки. Смещение поверхности нефтяного пятна измеряется вторым лазером. Движение поверхности вызывает изменение фазы или частоты (доплеровский сдвиг) в отраженном луче. Эта фазовая или частотная модуляция измеряется интерферометром. Толщина нефтяной пленки определяется временем распространения акустической волны между верхней и нижней поверхностью нефтяного пятна.

Спутниковый дистанционный мониторинг. Еще недавно предполагалось, что спутниковый дистанционный мониторинг вытеснит мониторинг с помощью самолетов. Однако спутниковые методы дистанционного зондирования также имеют недостатки, которые приведены в таблице 2. В настоящее время оптическое спутниковое наблюдение не обладает большим потенциалом для мониторинга нефтяных загрязнений.

Требования к датчикам дистанционного мониторинга приведены в таблице 2.

Спутниковые радары, такие как ERS-1, ERS-2, Radarsat, JARS-1, используются, как правило, для картирования уже обнаруженных нефтяных загрязнений. Все спутниковые данные, так или иначе, имеют недостаток разрешения и отсутствие своевременности.

Таблица 2

Преимущества и недостатки мониторинга нефтяных загрязнений с помощью спутника и с помощью самолета

Носитель оборудования	Преимущества	Недостатки
Спутник	Обширная область обзора (несколько километров)	Длительный период появления над заданным районом и фиксированное время прохождения над ним
	Наземное оборудование может быть размещено в нужном районе	Дорогостоящие датчики
	Береговая линия не мешает наблюдению	Заданный путь прохода над районом наблюдения
	Сбор и обработка данных может быть организована в полуавтоматическом режиме	Необходимость безоблачного неба для наблюдения (оптические и инфракрасные датчики)
Самолет	Оборудование можно модифицировать и относительно легко ремонтировать	Ограниченная область наблюдения (несколько сотен метров)
	Оборудование менее дорогое, чем в спутниковых системах	Требует большого количества ресурсов для длительного наблюдения
	Маневренность, позволяющая летать ниже зоны покрытия облаков	Требуется интенсивная работа людей

Основные технические возможности рассмотренных средств сведены в таблицу 4. Из таблицы 3 видно, что по своим техническим возможностям радиолокационные средства как сантиметрового, так и миллиметрового диапазона волн приближаются к контактному методам измерений. Однако они не требуют расстановки на морской поверхности датчиков буев, организации системы связи и т.д.

Таблица 3

Требования к датчикам дистанционного мониторинга нефтяных загрязнений

Задача	Минимальное пространственное разрешение, м		Максимальное время сбора достоверных данных, час.
	Большое пятно	Маленькое пятно	
Обнаружение нефти на поверхности воды	6	2	1
	10	2	12
Картографирование нефтяного загрязнения на поверхности воды	1	0,5	12
Картографирование нефтяного загрязнения на берегу	1	0,5	1
Определение толщины (объема) нефтяного загрязнения	10	2	1
Обзор большого пространства	10	2	1

Информационно-ситуационная матрица

Виды средств	Возможности и ограничения					
	Обнаружение разливов нефтепродуктов	Определение площади разлива, м ²	Определение толщины пленки, мкм	Не зависимость от метеословий	Дальность обнаружения, км	Оперативность
Оптические датчики, $\lambda = 400-700$ нм	+	+	-	-	50,	+
Инфракрасные датчики, $\lambda = 8-14$ мкм	+	+	-70	20	+	1-
Ультрафиолетовые датчики, $\lambda = 3-5$ мкм	+	+	0,01	>	-	1-
Лазерные рентгеноскопические датчики, $\lambda = 300-355$ нм	+	+	0,01	>0	-	>3
Радар сантиметрового диапазона, $\lambda = 3-9,6$ см	+	10	> 0,0	>1	+	0, 2-15
Радар миллиметрового диапазона, $\lambda = 2-8$ мм	+	10	> 0,5	>	-	0, 2-10
Контактные измерения	+	+	+	+	-	-

Поскольку все дистанционные датчики обладают теми или иными недостатками, то компенсировать их и улучшить достоверность обнаружения и картирования нефтяных загрязнений может только одновременное использование нескольких сенсоров, объединенных в систему дистанционного мониторинга нефтяных загрязнений, схема которой изображена на рисунке 1.3.

Выводы по главе:

1. Влияние техногенных аномалий позволяет определить характеристики излучений такие как:
 - a. длина волны максимального рассеянного света;
 - b. коэффициент преломления;
 - c. тепловое излучение;

d. изменение рассеянного сигнала.

2. Нефтяные загрязнения обнаруживаются средствами слежения акватории. Основными средствами слежения оперативного мониторинга являются космические снимки акватории, а так же береговые средства контроля и приборы установленные на судах.
3. Структура информационной системы оперативной оценки можно распределить как глобальные и региональные системы мониторинга. Для более полной и достоверной информации в структуру включена система объективного мониторинга оперативной обстановки в акватории.
4. Структура информационной системы оперативной оценки зависит от системы экологического мониторинга. Также в структуру входит блок информации сезонных факторов и оперативных метеорологических данных.

Глава 2. Алгоритмы объединения данных от систем различных диапазонов волн для обнаружения аномалий на водной поверхности

2.1. Принципы интеграции информации в автоматизированной информационной системе дистанционного мониторинга

Отдельный сенсор обладает конечной точностью, которая зависит от допустимых для него шумов, и может работать некорректно при неблагоприятных условиях. Если человек-оператор контролирует работу сенсора, то он может оперативно решать вопросы, связанные со сбоями в его работе. Но для эффективной работы автоматизированной многосенсорной системы показания отдельных сенсоров могут не быть достаточно надежными. Повысить достоверность информации, поступающей в центр вторичной обработки можно с помощью слияния данных различных сенсоров, использующего свойства избыточности, многообразия и сложности, которыми обладает группа сенсоров, рассматриваемая как единое целое. При этом:

- Система становится менее уязвимой к отказу отдельных компонентов-датчиков.
- Точность информации, поступающей в центр вторичной обработки, может быть повышена.
- Система в целом может стать менее уязвимой для шумов, так как шумовые компоненты сигналов датчиков не коррелированы в различных точках пространства/времени.
- Результат слияния данных может быть использован для поддержки принятия решений и помогает сократить время, необходимое для принятия решения, так как выносимое решение зависит от нескольких аспектов наблюдаемой ситуации.

Слияние данных на уровне сигналов относится к комбинации однородных сигналов группы сенсоров для получения сигнала такой же природы, как и исходные сигналы, но более высокого качества. Исходные сигналы при этом

могут быть смоделированы как случайные переменные, подвергшиеся воздействию некоррелированного шума, а процесс слияния данных можно рассматривать как процедуру их оценки. В качестве примера слияния данных на уровне сигналов можно привести взвешенное усреднение [17], в котором веса определяются исходя из оценки сигналов и фильтры Калмана [18], в которых используются статистические характеристики модели измерений для рекурсивной процедуры оценки продукта слияния данных.

Слияние данных на уровне пикселей используется для увеличения информационного наполнения, ассоциированного с каждым пикселем изображения, которое формируется как комбинация нескольких изображений. Следствием слияния данных на уровне пикселей является более достоверная сегментация изображения и более точные оценки параметров сегмента. Для слияния данных на уровне пикселей используется инструментарий логических фильтров [19], в которых выбор логических операций зависит от решаемой задачи, и инструментарий математической морфологии [20], при применении которого повышается информационная насыщенность каждого пикселя результирующего изображения.

Слияние на уровне параметров подразумевает выделение параметров процесса из наблюдений нескольких сенсоров. Если наблюдается большое число одинаковых значений параметра, тогда слияние данных улучшает точность вторичной обработки данных. Для слияния на уровне параметров обычно используются статистические техники [21].

Слияние данных на уровне символов является наивысшим уровнем абстракции. Оно используется при объединении информации от датчиков различной физической природы и используется для поддержки принятия решений, например, в таких задачах, как распознавание образов. Инструментарием, используемым для слияния данных на уровне символов, служит нечеткая логика [22], теория нейронных сетей [23], теория Демпстера-

Шефера [24], которая является продолжением теории байесовской оценки. Сравнение уровней слияния данных приведено в таблице 4.1.

Таблица 2.1.

Сравнение уровней слияния данных

Характеристика	Уровень сигналов	Уровень пикселей	Уровень параметров	Уровень символов
Тип информации	Одномерный или многомерный сигнал	Несколько изображений	Параметры, извлекаемые из сигналов/изображений	Решение, представленное символом
Уровень представления информации	Низкий	Низкий - средний	Средний	Высокий
Модель информации	Случайная переменная, поврежденная шумом	Стохастический процесс на изображении с многомерными атрибутами	Геометрическая форма, ориентация, положение	Символ с ассоциированной мерой неопределенности
Уровень совмещения: пространственный временной	Высокий Высокий	Высокий Средний	Средний Средний	Низкий Низкий
Средства достижения совмещения: пространственный временной	Объединение сенсоров. Синхронизация или оценка.	Объединение сенсоров. Разделяемая оптика. Синхронизация.	Геометрические преобразования. Синхронизация.	Пространственные атрибуты символа, если необходимо. Временные атрибуты символа
Метод слияния данных	Обнаружение и оценка	Оценка или комбинация атрибутов пикселей	Геометрическое или временное соответствие, комбинация параметров	Логическое или статистическое заключение
Улучшение, достигаемое при слиянии данных	Сокращение пространства переменных, улучшение качества обнаружения	Улучшение качества обработки изображений	Сокращение процесса обработки данных, более точные данные	Увеличение достоверности решения

В связи с вышесказанным, все датчики, входящие в распределенную многосенсорную систему дистанционного мониторинга можно подразделить на:

– *Комплементарные*. В этом случае датчики не зависят напрямую от работы друг друга, но их выходные сигналы могут быть скомбинированы для того, чтобы

получаемые в результате интеграции данные удовлетворяли какому-либо заранее заданному критерию. К ним относятся:

а) датчики, конкурирующие друг с другом в смысле различий, возникающих на этапе принятия решений;

б) датчики, поставленные в условия конкуренции для увеличения надежности системы в целом.

– *Взаимодействующие*. В этих датчиках выходные данные интегрируются для получения информации, которая недоступна при использовании одного датчика.

– *Независимые*. Датчики, выходные данные которых не подвергаются интеграции.

2.2 Алгоритм объединения данных измерительных сенсоров на уровне сигналов

Процесс объединения выходных данных датчиков на уровне сигналов представлен на Рисунок 2.1 и требует точности при совместной регистрации временных рядов.

После коррекции системных и геометрических ошибок в наборе данных, как показано на Рисунок 2.1, сигналы могут быть интегрированы с использованием одного или комбинации из следующих методов:

- Арифметической комбинации.
- Анализа главных компонент.
- Вейвлет-анализа.
- Замены переменной при регрессии.
- Цветовой композиции RGB.
- Изменение интенсивности цветового тона.

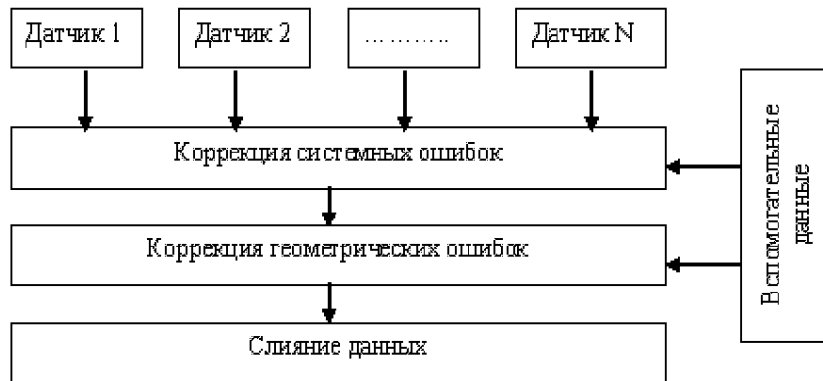


Рисунок 2.1. Процесс объединения данных на уровне сигналов в системах дистанционного мониторинга

Арифметическая комбинация. Возможности комбинирования данных путем применения к ним математических операций обширны. Выбор весов и масштабирующих коэффициентов могут улучшить результирующее изображение.

$$DN_f = A(w_1 * DN_a + w_2 * DN_b) + B \quad (2.1)$$

$$DN_f = A * DN_a * DN_b + B . \quad (2.2)$$

Выражение (2.1) представляет собой пример суммирования, а выражение (2.2) представляет собой улучшение разрешения. Символы A и B являются масштабирующим и аддитивным коэффициентами соответственно, а символ w – весовой коэффициент. DN_f, DN_a, DN_b – относятся к числовым значениям конечного интегрированного изображения и исходных изображений a и b .

Преобразование Брови (Brovey) является специальной комбинацией арифметических операций, которая нормализует мультиспектральные полосы, используемые для показа цветов RGB, и умножает результат на любое желаемое изображение с более высоким разрешением для добавления компонента интенсивности или яркости. Алгоритм реализуется выражением

$$DN_{fused} = \frac{DN_{b1}}{DN_{b1} + DN_{b2} + \dots + DN_{bN}} * DN_{highres} , \quad (2.3)$$

где DN_{fused} означает числовые значения интегрированного изображения, b_1, b_2, \dots, b_n - спектральные полосы,

$DN_{highres}$ - числовые значения изображения с более высоким разрешением.

Анализ главных компонент (АГК). АГК является статистическим методом, который преобразует многомерный набор данных коррелированных переменных в набор данных, состоящий из некоррелированных линейных комбинаций исходных переменных. Вычислительный подход к АГК включает в себя вычисление:

- матрицы ковариации или корреляции,
- собственных векторов и собственных чисел,
- главных компонент.

Инверсное преобразование возвращает скомбинированные данные в рамки исходного пространства изображения. Замещение первого главного компонента изображением с более высоким разрешением преобразует многоканальный набор данных в изображение с более высоким разрешением. Это называется замещением главных компонент. Канал, который заменит ГК1 расширяется с учетом среднего и дисперсии ГК1.

Вейвлеты. Вейвлет-преобразование создает сумму элементарных функций из любых функций, имеющих конечную энергию. Интерпретация структур или деталей изображения зависит от масштаба изображения, который иерархически представляется в виде пирамиды анализа переменной разрешающей способности.[25] Если вейвлет-коэффициенты определены для двух изображений с разными разрешающими способностями, то можно создать модель преобразования для определения недостающих вейвлет-коэффициентов изображения с более низкой разрешающей способностью. Используя их, можно создать синтетическое изображение с более высокой пространственной разрешающей способностью.

Замена переменной при регрессии. При множественной регрессии получается переменная, представляющая собой линейную функцию многомерных

данных, которая имеет максимальную корреляцию с одномерными данными. В интеграции изображений процедура регрессии используется для определения линейной комбинации (вектор замещения) каналов изображений, которая может заменить какой-либо существующий канал изображения. Если он имеет более низкое пространственное разрешение, то эта процедура ведет к улучшению изображения.

Для осуществления процесса объединения данных сенсоров, которые не визуализируют информацию о состоянии зоны ответственности, а используют, например, контактные методы измерения параметров загрязнения в данной точке пространства, наиболее приемлемым является слияние данных по методу цветовой композиции RGB. К достоинствам этого метода относятся, во-первых, простота реализации в любом пакете прикладных программ, где есть функции обработки изображений, во-вторых, цветовая палитра отображаемых цветов играет в данном случае роль автоматического механизма выбора весов интегрируемых сигналов и при наличии таблицы соответствия может дать представление о степени отклонения регистрируемых данных от нормы.

Цветовая композиция RGB. Алгоритм слияния данных по методу цветовой композиции RGB представлен на Рисунок 2.2.



Рисунок 2.2. Алгоритм реализации слияния данных по методу цветовой композиции *RGB*

Так называемые складывающиеся основные цвета позволяют приписывать три различных типа информации (каналы изображений) трем основным цветам *RGB*. Вместе они формируют цветовую композицию, которую можно увидеть с помощью телевизионной трубки при параллельном использовании таблицы соответствия. Цветовая композиция позволяет интерпретировать многоканальные данные изображений в соответствии с цветами, приписанными каждому отдельному каналу.

Из этих точек формируется полигон, в котором точки пространства помечаются соответствующими цветами палитры *RGB*, как показано на Рисунок 2.3.

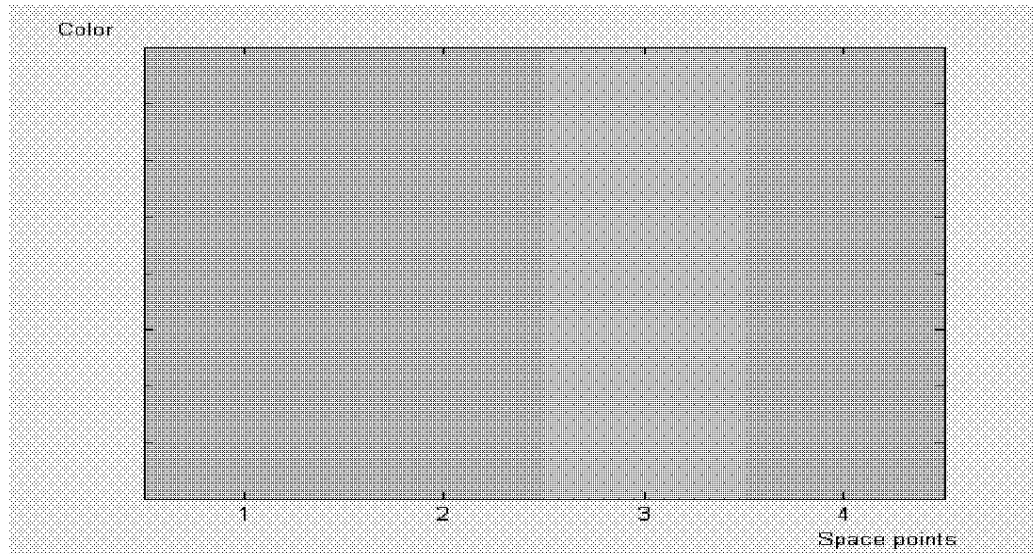


Рисунок 2.3. Визуализация слияния данных по методу цветовой палитры *RGB*

Для наглядности в приведенном примере применена максимальная контрастность.

Визуализация слияния данных по методу цветовой палитры *RGB* может служить для поддержки принятия решений при работе многосенсорной системы мониторинга. Привязка точек полигона к географической карте помогает визуализировать результат слияния данных, а отображение зоны с помощью цветовой палитры автоматически реализует веса и комбинации сигналов, которые могут быть достигнуты в других методах (арифметическая комбинация, вейвлеты, анализ главных компонент) с помощью специально разработанных математических операций.

Изменение интенсивности цветового тона (IHS). При изменении интенсивности цветового тона пространственная информация (*I*-интенсивность) и спектральная (*H* – доминирующая длина волны, *S*- насыщенность) отделяются друг от друга. Значения *IHS* обычно выражаются в сферических координатах и могут быть переведены в декартовы координаты с использованием линейного преобразования:

$$\begin{pmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}, \quad (2.4,a)$$

$$H = \tan^{-1} \left(\frac{v_1}{v_2} \right), \quad (2.4,b)$$

$$S = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}, \quad (2.4,b)$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix}. \quad (2.5)$$

Для применения этого метода при улучшении пространственного разрешения панхроматический канал более высокого разрешения замещает компонент интенсивности набора данных с более низким разрешением. Непосредственное применение этого метода заключается в изменении изображений, приписываемых трем каналам – I, H, S . Заместительное преобразование трансформирует цветовое пространство RGB в цветовое пространство IHS , при этом цветовой компонент отделяется от компонента интенсивности, который замещается новым каналом изображения с более высоким разрешением (как правило, это канал контраста). Затем над изображением производится обратное преобразование из формата IHS в формат RGB для создания интегрированного изображения.

2.3. Алгоритм слияния и обработки радиолокационных изображений на уровне параметров.

Обычно наблюдающий сенсор несколько смещен и повернут относительно опорного сенсора, поэтому для увеличения точности определения параметров изображаемого объекта необходимо найти функцию F , которая эффективнее (с минимальным отклонением) отображает показания наблюдающего сенсора $S_2(x_1, \dots, x_n)$ на показаниях опорного сенсора $S_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Эта ситуация изображена на Рисунок 2.4

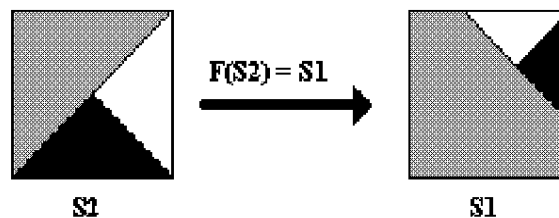


Рисунок 2.4.Метод совмещения изображений

Решение задачи слияния данных в этом случае состоит в нахождении вектора трансляции (вращения и смещения), который корректно откалибрует два изображения с одинаковыми конфигурациями.

Существует несколько способов решения задачи совмещения изображений. В работах [26,27] рассмотрены алгоритмы “tabu search” (TS) и “genetic algorithms” (GA) для показаний двух сенсоров. Алгоритм TS состоит в трансляции одного изображения относительно другого и нахождении функции соответствия между ними. Точки, в которых производился поиск при выполнении алгоритма, сохраняются в списке “tabu” и не просматриваются повторно, пока в нем находятся. Быстрое достижение минимума обеспечивается оптимизацией и применением параллельного поиска.

При выполнении генетического алгоритма возможные ответы на запросы сохраняются как ряды. Множество этих рядов формируют генофонд. Качество возможных ответов может быть оценено через функцию соответствия (fitness function) [27]. Относительное качество ответов обеспечивается рядами, которые

используются для создания нового поколения рядов, где их содержимое используется для создания новых генерирующих поколений, в которых содержимое рядов обеспечивает ответы высокого качества, более вероятных для продолжения генерации следующего поколения. Существует много стратегий определения операции для получения новой генерации.

Каждый из приведенных алгоритмов имеет свои особенности: если для *TS* характерно быстрое схождение, как правило, к локальным минимумам, то для *GA* – достижение глобального минимума из-за большего числа расчетов. В работе [28] предложен новый алгоритм, обладающий преимуществами каждого из них.

Предлагаемый алгоритм эффективной регистрации двумерных изображений и последующего их слияния представлен на Рисунок 2.5 и состоит из следующих основных этапов:

- Формирование размера «рабочего кадра» - области показаний сенсоров, которые будут подвергаться трансляции и вращению, для определения направления схождения алгоритма.

- Формирование начального направления схождения двух показаний сенсоров, присущее генетическим алгоритмам, с целью обхода локальных минимумов.

- Выбор направления и шага схождения путем максимизации функции соответствия $Fitn_f$ – действие, присущее алгоритму *TS*.

- Усреднение показаний двух сенсоров.

На первом этапе инициализируются все необходимые переменные, и получают показания двух сенсоров. Инициализируются также шаг трансляции, угол вращения, начальное положение и размер «рабочего кадра» изображения.

На втором этапе генерируется множество начальных направлений, по котором смещается «рабочий кадр» на наблюдаемом изображении и для которых рассчитываются функции соответствия между опорным и наблюдаемым изображениями.

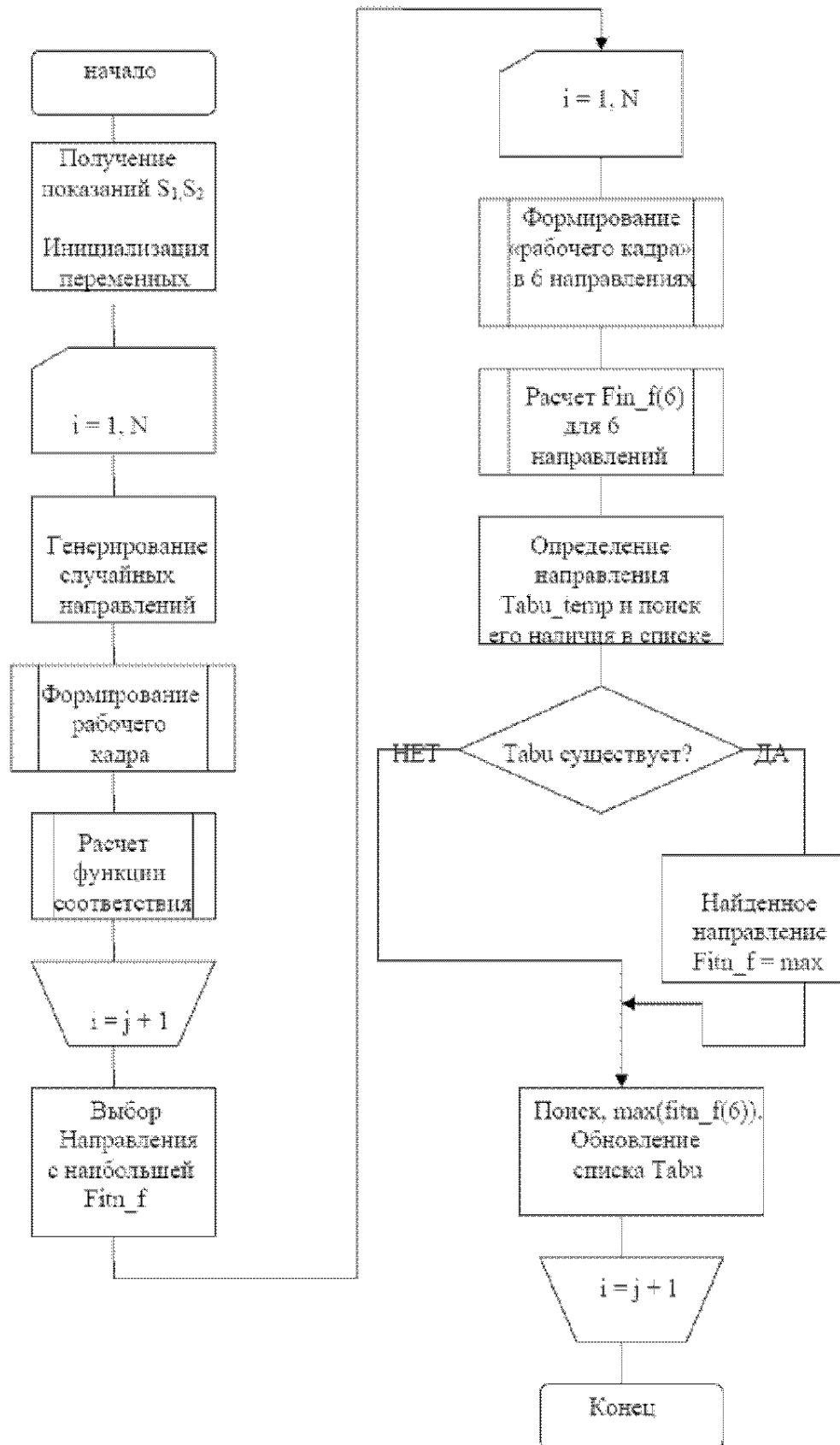


Рисунок 2.5. Схема алгоритма совмещения изображений, из которых рассчитываются функции соответствия между опорным и наблюдаемым изображениями.

Число генерируемых направлений задается эмпирически и зависит от размера обрабатываемого изображения. На третьем этапе выбирается направление с максимальным значением функции соответствия и заносится в список Tabu. Затем организуется цикл, число итераций которого устанавливается эмпирически в зависимости от степени соответствия двух изображений и достигаемой точности их регистрации. Выбираются шесть возможных направлений (верх, вниз, влево, вправо, правый и левый углы поворота) трансляции «рабочего кадра». Рассчитывается функция соответствия для этих выбранных направлений и производится их поиск в списке Tabu. Если одно из направлений уже имеется в списке Tabu, то функции соответствия этого направления присваивается максимальное значение. В противном случае определяется направление с минимальным значением функции соответствия и заносится в список Tabu. Выбранное направление используется для дальнейшего поиска. После выполнения данного цикла осуществляется слияние двух изображений посредством трансляции в выбранном направлении наблюдаемого изображения относительно опорного и последующего усреднения двух изображений.

В качестве функции соответствия предлагается выбрать критерий связности Кульбака [28], который есть ни что иное, как количество информации по Шеннону $I(x, y)$ в изображении y об изображении x .

Критерий связности Кульбака зависит от взаимной плотности распределения вероятностей (ПРВ) интенсивности пикселей двух изображений

$$\rho(x, y) = \int \log_2 \frac{w(x, y)}{w(x)w(y)} w(x, y) \mu(dx dy), \quad (2.6)$$

где $w(x, y)$ - взаимная ПРВ двух изображений;

$w(x), w(y)$ - ПРВ изображения x и изображения y соответственно;

μ - мера расстояния между двумя пикселями.

В работе [28] обоснован выбор данной функции соответствия двух сигналов, так как взаимная информация является одной из самых точных, мощных и устойчивых мер соответствия двух сигналов вследствие того, что:

- на природу отношения между интенсивностями пикселей двух изображений не накладывается никаких ограничений;

- не делается никаких предположений об изображаемых объектах, т.е. для применения информационной меры связности не выполняется предварительная параметризация изображения или выделение каких-либо его характеристик;

- среди всех разновидностей информационных мер связности мера Кульбака отличается почти линейной функцией потерь для минимизации Байесовского риска при различении двух гипотез, что иллюстрирует Рисунок 2.6.

Перечисленные преимущества выбранной информационной меры соответствия позволяют полностью автоматизировать процесс слияния изображений без выполнения какой-либо предварительной их обработки.

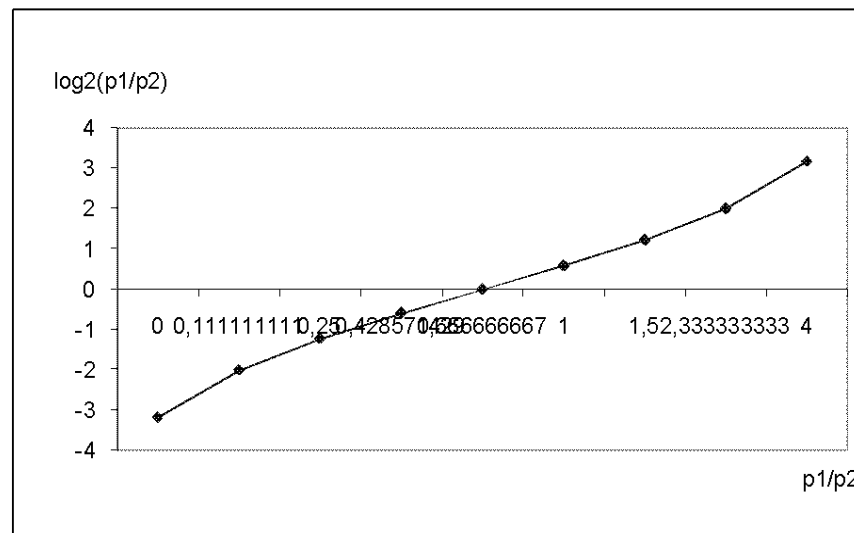


Рисунок 2.6. Функция стоимости вида $\log_2(p1/p2)$

При автоматизации процесса слияния двух изображений с использованием информативной меры в качестве функции соответствия берется не только численное значение самой функции, но и взаимная ПРВ двух изображений, а также параметры ПРВ (асимметрия и эксцесс), которые указывают направление

наискорейшего слияния, так как имеют различия в значениях по горизонтали и вертикали.

На Рисунок 2.7 приведен радиолокационный снимок акватории Северной Атлантики у банки Галисия в районе катастрофы танкера «Престиж» в ноябре 2002 г. Снимок получен со спутника ERS-2. Для чистой морской воды характерен слабоконтрастный серый фон. Темные пятна на этом фоне – поверхностные пленки нефтяных загрязнений, белые точки - морские суда. От танкера «Престиж» - белой точки в южной части снимка в северном направлении тянется темный шлейф, который разделяется на два рукава – северный и восточный. Хорошо видны отдельные темные пятна эмульсии топлива, образовавшиеся в результате утечки из танков «Престижа» в первые дни аварии.

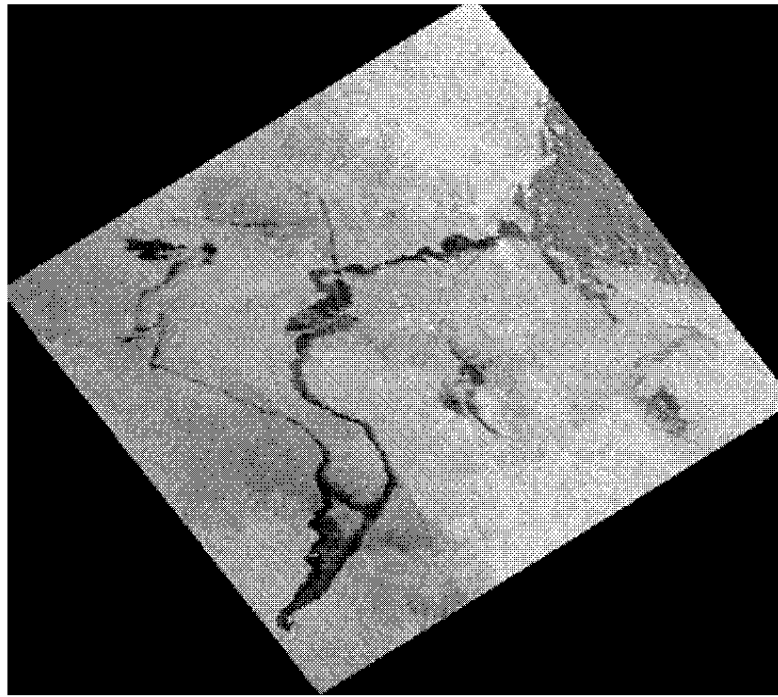


Рисунок 2.7. Исходное изображение

На Рисунок 2.8 приведено то же изображение, повернутое относительно Рисунок 2.7. На Рисунок 2.9 показано простое совмещение двух изображений.

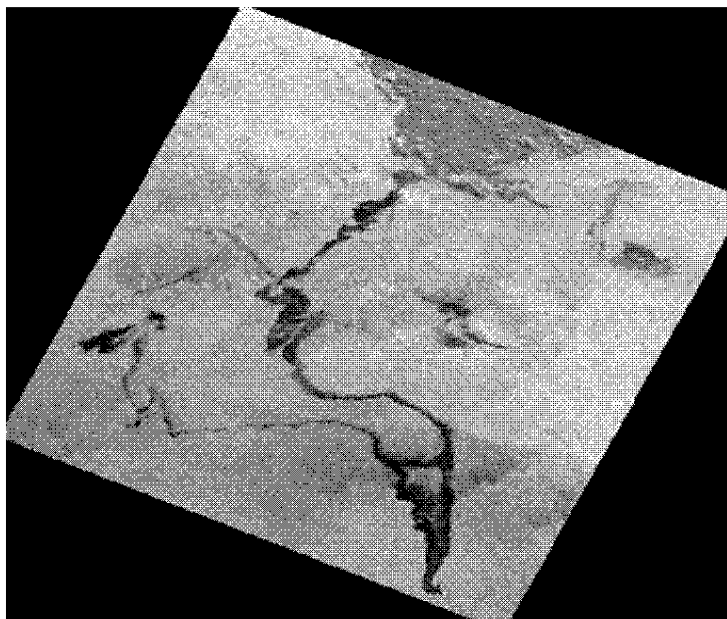


Рисунок 2.8. Изображение, повернутое относительно исходного

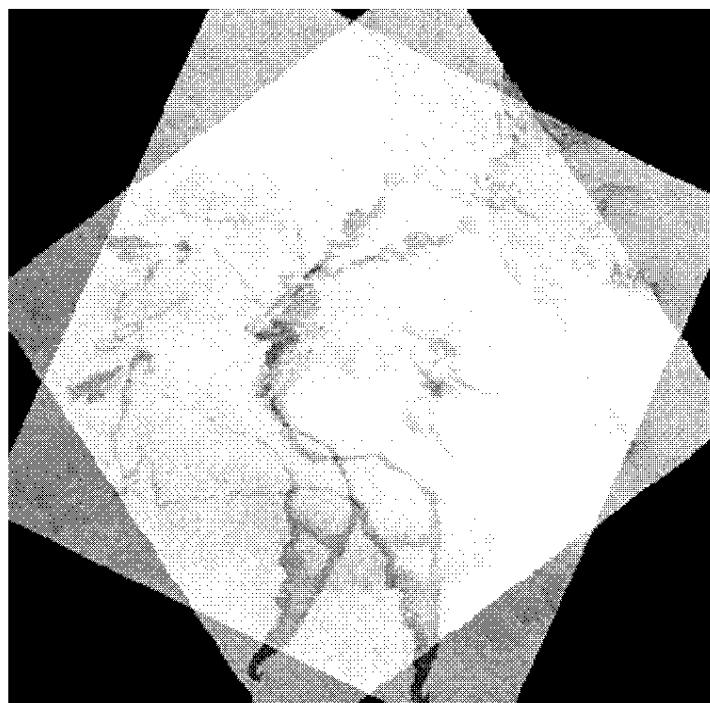


Рисунок 2.9. Результат совмещения двух изображений

На Рисунок 2.10 показана взаимная ПРВ совмещенных изображений.

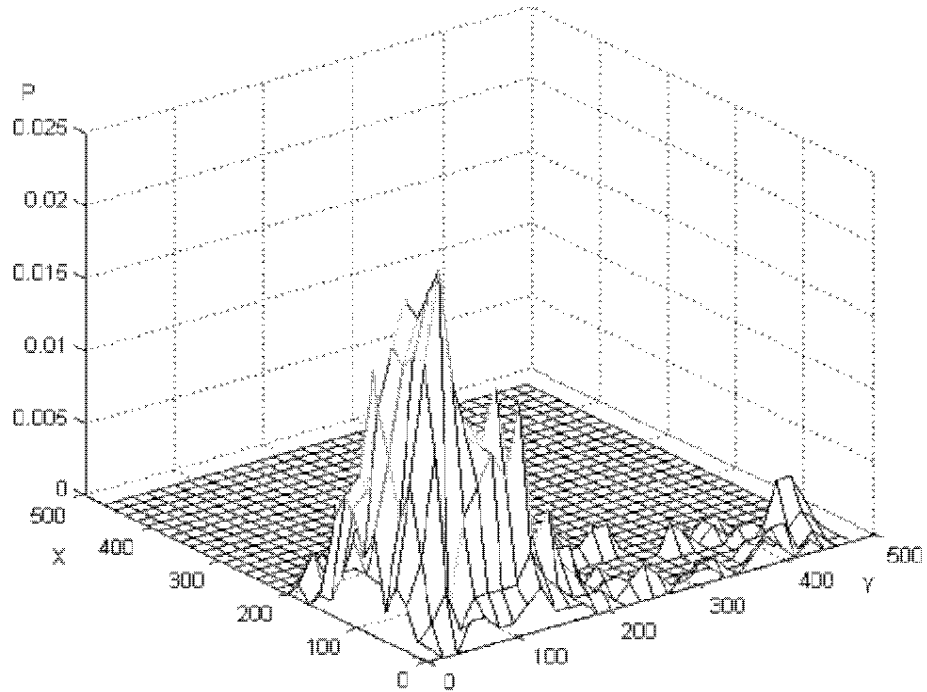


Рисунок 2.10. Взаимная ПРВ совмещенных изображений

На Рисунок 2.11 показана ПРВ двух изображений, прошедших процедуру слияния в соответствии с предложенным алгоритмом, реализованным в пакете MatLab.

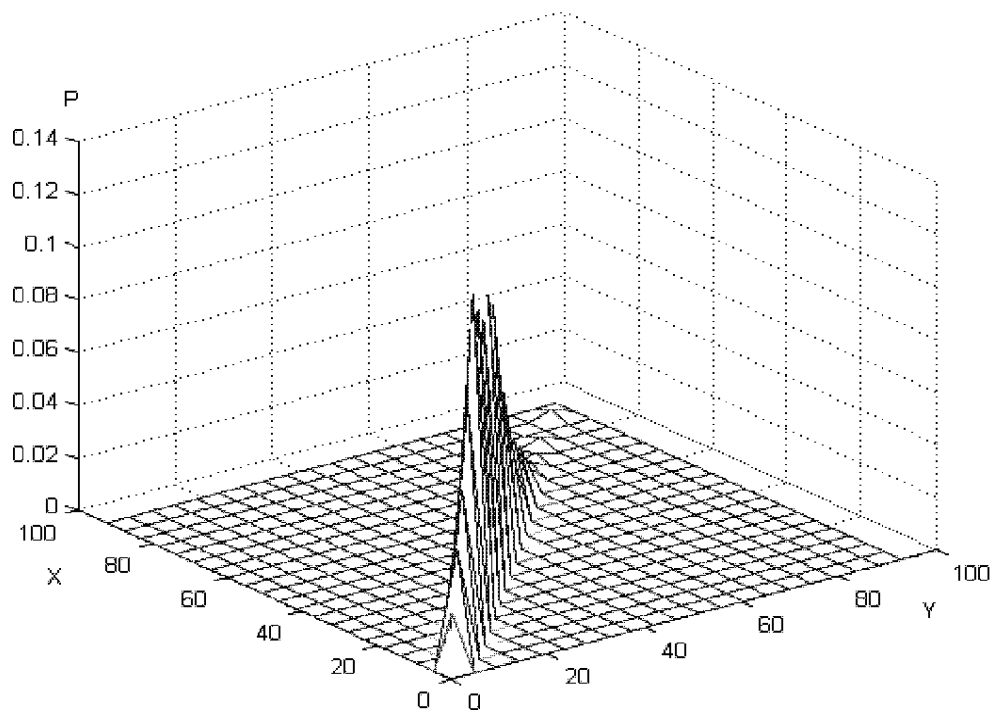


Рисунок 2.11. Взаимная ПРВ двух изображений, прошедших процедуру слияния

На Рисунок 2.12 показан результат выполнения предложенного алгоритма слияния двух изображений на уровне параметров.

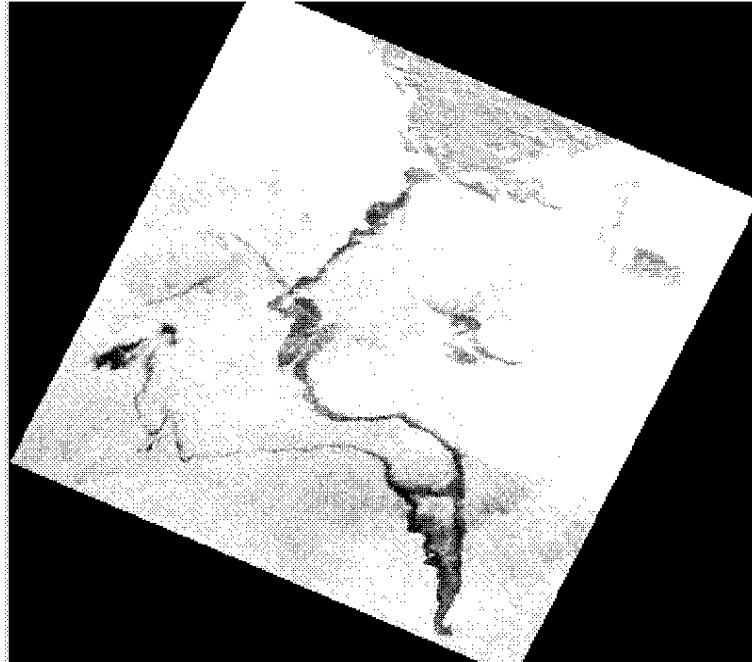


Рисунок 2.12. Результат слияния изображений на уровне параметров

Рисунок 2.10 и Рисунок 2.11 позволяют сделать вывод о степени слияния (схожести) изображений, полученных от двух сенсоров. При полном их совпадении взаимная ПРВ максимальна и расположена по главной диагонали. Отклонение ее от главной диагонали указывает на угол поворота их друг относительно друга, а степень размытости по площади на степень отличия изображений.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что внедрение алгоритма слияния монохромных изображений на уровне параметров с применением информационной меры соответствия, позволяет полностью автоматизировать процесс слияния изображений без выполнения какой-либо предварительной их обработки.

Выводы по главе:

Основным принципом интеграции являются:

- избыточность информации;

- слияние на уровне параметров.

Датчики используемые в могосенсорной системе дистанционного мониторинга можно разделить на две группы:

- комплементарные
- взаимодействующие

Процесс объединения сигналов требует точности при совместной регистрации временных рядов и может быть распределена на:

- арифметические комбинации;
- анализ главных компонент
- замена переменной при регрессии

алгоритмы слияния изображения на уровне параметров, позволяют повысить точность измерений и снизить число ошибок. Предлагаемый алгоритм эффективной регистрации изображений состоит из следующих этапов:

- формирование размера «рабочего кадра»
- формирование схождения показаний сенсоров
- выбор направления и шага схождения
- усреднение показаний сенсоров

Приведенные результаты свидетельствуют о повышении точности измерений.

Глава 3 Содержание и концепция построения геоинформационной системы поддержки принятия решений.

3.1. Управление защитой геоинформационных систем поддержки принятия решения.

Управление защитой геоинформационных пространств заключается в целенаправленном воздействии со стороны лица, принимающего решения (ЛПР) и органа управления на подчиненный объект с целью достижения поставленных задач, имеющих наряду с содержательным и территориальное выражение.

Обычно выделяются два уровня управления защитой – макро- и микро-уровни. На *макроуровне* защищаемый территориальный объект (ТО), представляется точкой пространства (обобщенным объектом без разделения на подсистемы), обладающей интегральными характеристиками состояния (координаты, скорость, курс и т.д.). Однако ТО, как правило, является сложной организационно-технической системой, включает ряд структурных подсистем, функционирование которых в конечном итоге и обеспечивает решение поставленных перед ним задач.[29]

Управление состоянием функциональных подсистем ТО составляет *микроуровень* управления. Выделение двух уровней управления обусловливается необходимостью учета взаимовлияния подсистем ТО на формирование окружающей территориальной обстановки и, наоборот, состояния внешней геосреды на планирование действий ТО.

Процесс управления территориальными объектами состоит в циклическом выполнении ЛПР и органами управления следующего обобщенного комплекса мероприятий:

1) получение командной информации (КИ) от вышестоящего органа управления ($(i-1)$ -го уровня, где i – уровень управления ТО);

2) получение информации состояния (ИС) (данные обстановки) от подчиненных и подсистем наблюдения и связи;

3) переработка КИ ($i-1$)-го уровня и ИС i -го уровня в решение (генерирование КИ i -го уровня);

4) доведение КИ i -го уровня до объекта управления ($i+1$)-го уровня (подсистемы (подразделения) ТО) и контроль за ее выполнением.

Обобщенная методика ЛПР и органа управления включает следующие этапы управления ТО: уяснение задачи, оценка обстановки, выработка решения (вариантов действий), планирование, организация выполнения плана.[30]

Решение многообразия задач управления защитой требует соответствующего информационного ресурса, базирующегося на едином подходе к описанию пространственной и атрибутивных видов информации.

Однако существующее в настоящее время противоречие между пространственной сущностью или содержанием информации в системе управления защитой ТО и ее преимущественно атрибутивным или описательным представлением в существующих автоматизированных системах управления (АСУ) препятствует внедрению геоинформационных методов управления его защитой.

Обобщая, можно сделать вывод, что, несмотря на наличие уже в настоящее время большого (а в пределе неограниченного) по составу и содержанию количества геоинформации, использование этих данных продолжает оставаться крайне неэффективным – не более чем на уровне карты-подложки. При достаточно высокой активности описательной составляющей (содержания) геоинформации в АСУ, кибернетическая или императивно-предписательная активность ее формы (визуального картографического представления) является недопустимо низкой.

Для того чтобы преодолеть противоречие между пассивностью формы представления геоинформации и необходимостью выражения активности ее содержания, чтобы сделать процесс геоинформационной поддержки управления активным, необходимо разработать модели представления и методы использования геоинформации в АСУ защитой информации.

Для этого требуется в первую очередь создать концепцию обработки геоданных в АСУ для решения задач управления. Данная концепция базируется на традиционных подходах к построению СППР и картографических представлениях территориальных объектов.[31]

Основная идея построения геоинформационной СППР состоит в представлении классических категорий, этапов и процессов управления в единой геопространственной форме и организации на этой основе сквозной, интегральной, согласованной обработки геоинформации (ГИ) в АСУ для решения задач управления территориальными объектами.

При разработке моделей сложных объектов, которыми являются и системы управления защитой ТО, возникает задача выбора адекватной структуры математической модели как самих систем, так и структуры процесса обработки информации (ПОИ) в них. Проблема управления такими объектами связана с их распределённостью, сложностью информационных связей между подсистемами, использованием как количественной, так и качественной информации для принятия решений и, как следствие, с человеко-машинным характером процесса обработки информации. Очевидно, что эффективность такого процесса во многом будет зависеть от архитектуры, способа информационной поддержки ЛППР и места применения СППР в системе управления защитой ТО. В этой связи необходимо определить возможный перечень задач связанных с разработкой таких СППР, формализовав основные этапы ПОИ.

Подходы к формальному представлению ПОИ как объекта управления (ОУ) целесообразно выполнять на основе обобщения результатов работ [32][33][34]. Пусть имеется множество элементарных объектов (например, судов и стационарных средств обеспечения безопасности мореплавания) $E = \{e\}$, каждый из которых характеризуется вектором значений показателей $Z_e = \{Z_{ep}\}$, $e \in E$, $p \in P$, где P – множество показателей, включая координаты нахождения ТО и средств мониторинга территории. Под комплексом технических средств следует понимать граф $G(L, M)$, где $L = \{l\}$ – множество вершин, соответствующих

множеству задействованных средств, а $M = \{m\}$ – множество дуг, соответствующих информационным связям между объектами. Пусть на множестве вершин и дуг графа G заданы функциональные связи между значениями показателей:

$$f_i(l_1, l_2, \dots, l_{a_i}; m_1, m_2, \dots, m_{v_i}) = 0 \quad (3.1)$$

$$l_1 \in L, \dots, l_{a_i} \in L; m_1 \in M, \dots, m_{v_i} \in M, i \in I,$$

где I – множество функциональных связей вида (1.1), заданных на графе G .

Тогда граф G с заданными на нем функциональными связями (1.1) является информационной моделью системы. Состояние системы будет называться допустимым, если набор значений показателей $Z = \{Z_{ep}\}$ для всех $e \in E, p \in P$, т. е. точка b в фазовом пространстве B (пространстве показателей), удовлетворяет условиям (1.1) и

$$Z = \{Z_{ep}\} \leq Z_{\text{доп}} = \{Z_{ep}\}_{\text{доп}} \quad \forall e \in E, p \in P, \quad (3.2)$$

а соответствующее множество B° есть множество допустимых состояний. Если на множестве B° определено отношение предпочтения R , можно говорить о выделении из B° подмножества B^* недоминируемых по R состояний (в частности, единственного наиболее предпочтительного b^*):

$$B^* = \{b^* \mid b^* \in B^\circ, \exists b \in B^\circ : bRb^*\} \quad (3.3)$$

или

$$K_o : B^* = F_{\Pi}(B^\circ), \quad (3.4)$$

где K_o – задача нахождения допустимого в смысле (3.3) состояния b^* .

Состояние b^* является решением задачи K_o .

Пусть функция выбора F_{Π} реализуется на множестве ЛПР (лиц, органов управления) $W = \{w\}$, каждое из которых может использовать операторы (методики, алгоритмы) A_w из заданного \tilde{A} . При этом ни один из A_w не может реализовать функцию выбора F_{Π} (1.4), т. е. решение задачи K_o требует её

разбиения на частные подзадачи K_j , для каждой из которых существует хотя бы один оператор A_{w_j} , дающий её решение

$$B_j^* = A_{w_j}(\tilde{G}_j), \quad (3.5)$$

где \tilde{G}_j – модель, соответствующая подзадаче K_j , т. е. подграф $\tilde{G}_j(L_j, M_j)$ графа G вместе с множеством заданных на нём функциональных связей типа (1.3).

Под человеко-машинным комплексом средств управления защитой ТО следует понимать кортеж вида

$$\langle \{K_j\}, \{\tilde{G}_j\}, \{w\}, \{A_w\} \rangle, \quad (3.6)$$

где $\{K_j\}$, $\{\tilde{G}_j\}$, $\{w\}$, $\{A_w\}$ – множества всех подзадач, соответствующих им моделей, ЛППР и классов алгоритмов соответственно. Если подзадачи $\{K_j\}$ и/или алгоритмы $\{A_w\}$ выполняются параллельно, то комплекс будет иметь свойства распределённой системы.

Семейство множеств (1.6) порождает множество $\tilde{\Phi} = \{\Phi\}_j$ возможных этапов (операций) выполнения Φ_j -процедуры, описываемых кортежами вида

$$\Phi_j = \{K_j, \tilde{G}_j, W_j, A_{w_j}\}. \quad (3.7)$$

В (1.7) K_j – j -я частная подзадача, в соответствие которой поставлены модель \tilde{G}_j , должностное лицо W_j и оператор A_{w_j} , дающий решение этой подзадачи.

Необходимо отметить, что для решения одной и той же подзадачи может быть использовано множество альтернативных операций, являющихся элементом декартова произведения множеств, входящих в (1.6). Тогда процедурой Π решения задачи K_o , как процедуры решения совокупности взаимосвязанных задач $\{K_j\}$, является кортеж

$$\Pi = \langle \tilde{\Phi}, Z \rangle, \quad (3.8)$$

где Z – правило упорядочения работы определенных операций.

Таким образом, для обеспечения сходимости процедуры Π при решении сводной задачи K_o , помимо построения правила Z , необходима коррекция локальных операторов A_j решения частных задач, выполненных соответствующими ЛПР. При этом возможны следующие наиболее часто встречающиеся задачи управления комплексом средств, расположенных как на борту ТО, так и на пунктах управления защитой ТО.

Задача 1 (планирование).

Найти подграф $\tilde{G}_j(L_j, M_j)$ как решение обратной задачи K_j (3.5) $\tilde{C}_j = Aw_j(B_j)$, если задан ресурс в виде графа $G(L, M)$ с функциональными связями (3.1) и ограничений (3.2), (3.3).

Задача 2 (оперативное управление при достаточном ресурсе).

Необходимо перевести объект (систему) из состояния $b_1 \notin B^\circ$, $Z_1 = \{Z_{ep}\}|_{t_1}$ в состояние $b_2 \in B^\circ$, $Z_2 = \{Z_{ep}\}|_{t_2}$ за время $|t_1 - t_2|$, если потребные для этого объемы ресурсов $V_G(\{l\}, \{m\})$:

$$V_{12}\left(Z_1 = \{Z_{ep}\}|_{t_1}, Z_2 = \{Z_{ep}\}|_{t_2}, |t_1 - t_2|\right) < V_G(\{l\}, \{m\}),$$

причем ресурсы должны быть использованы рациональным способом.

Задача 3 (оперативное управление при недостаточном ресурсе).

Пусть $V_{12}\left(Z_1 = \{Z_{ep}\}|_{t_1}, Z_2 = \{Z_{ep}\}|_{t_2}, |t_1 - t_2|\right) > V_G(\{l\}, \{m\})$. Тогда

необходимо выбрать режим $K_1: B = F_{\Pi}(B^\circ)$, наиболее близкий к требуемому режиму функционирования (с заданной степенью соответствия):

$$B = \{b_T | b_T \in B^\circ, \exists b_T \in B^\circ : bRb_T\}, \text{ где } b_T = |b^* - b| \leq \xi.$$

Решение задач 1-3 предполагает реализацию вычислительных процедур (3.1)-(3.8) и является способом выполнения необходимых и достаточных условий целевого предназначения средств автоматизации управления коммуникационным

и информационным ресурсами и/или пунктов управления защитой ТО. Однако для систем управления защитой ТО и/или транспортом принципиальным является анализ информации, содержащейся в сообщениях от подсистем транспортных средств и комплексов средств обеспечения безопасности функционирования ТО, поэтому решения задач управления в постановке 1-3 следует считать необходимыми, но не достаточными условиями для выполнения их целевой функции, заключающейся в решении различного рода территориальных задач.

Исходя из изложенного, необходимо сформулировать задачи управления защитой геоинформационного пространства, связанные с выполнением достаточных условий функционирования ТО. Для этого в описание ОУ надо ввести вектор информации об объектах мониторинга. Тогда исходному множеству элементарных объектов $E = \{e\}$, характеризуемых вектором значений показателей $Z = \{Z_{ep}\}$, $e \in E$, $p \in P$, можно однозначно сопоставить множество информации $i_e = \{i_{eq}\}$, $q \in Q$, где Q – множество формализованных сообщений поступивших от e -го средства. Из-за необходимости решения задач 1-3 принципиальным для осуществления основной вычислительной процедуры – процедуры анализа и классификации поступающей информации – является характеристика результатов применения вычислительных процедур вида (3.1)-(3.8). Для этого требуется ввести понятие выполнения необходимых условий по управлению в виде одноместного предиката ν . При этом, если найдено решение задач 1-3, посредством реализации вычислительных (человеко-машинных) процедур (3.1)-(3.8) предикат $\nu = 1$, иначе $\nu = 0$. Учитывая, что в соотношениях (3.1) в качестве показателей присутствуют и $\{X_e, Y_e\}$ – координаты зон ответственности средств, то граф $\tilde{G}_j(L_j, M_j)$ отражает и структуру модели геоинформационного пространства АСУ ТО при решении ими K_j -задачи.

В связи с этим задачи 1-3 следует рассматривать и как задачи управления этим геоинформационным пространством.

Однозначное сопоставление множеств $\{Z_{ep}\}$ и $\{i_{eq}\}$ следует осуществить через предикат связи ν по следующему правилу: если на момент времени t_1 поступило сообщение i_{e1} и средство автоматизации управления находится в состоянии $\{Z_{ep}\}$, $e \in E$, $p \in P$, удовлетворяя условиям (3.1) и (3.2), то $\nu=1$, $i_{e1} = i_{e1}$ иначе $\nu=0$, $i_{e1} = 0$. В первом случае сообщение i_{e1} поступает в обработку, во втором – безвозвратно теряется из-за неготовности средства автоматизации управления к его обработке.

Можно считать, что в результате многократного применения данного правила на интервале времени t (время наблюдения за обстановкой) из множества $I = \{i_{eq}\}$ формируется его усеченное подмножество

$$I(t) = \{i_{eq}\} \xrightarrow{\nu} \tilde{I}(t) = \{i_{eq}\}. \quad (3.9)$$

Подмножество $\tilde{I}(t)$ является исходным для решения задач обнаружения, классификации и распознавания пространственно-временных ситуаций обстановки в зоне ответственности средств обеспечения безопасности ТО. Учитывая неполноту, нечеткость а иногда и противоречивость исходной информации, вторая и третья задачи оперативного управления обычно решаются ЛПР с использованием различных средств автоматизации управления включая и проблемно-ориентированные интеллектуальные СППР. Учитывая, что основным назначением интеллектуальных СППР является информационная поддержка и/или генерация возможных (наиболее вероятных) вариантов управления ТО с использованием баз знаний, задачи №2, 3 при их автоматизированном решении с помощью СППР следует рассматривать как задачи управления логическим выводом следующего вида.

Задача 4 (отождествление)

Имеется $\tilde{I}(t) = \{i_{eq}\}$, найти такое подмножество I_T , для элементов которого выполняются условия тождественного преобразования

$$I_T = \{i_{eq}^T \mid i_{eq}^T \equiv i_{ij}^T\}, e \in I, q \in Q, i \in I, j \in Q$$

посредством использования множества правил $\{p\}$ за время $t_{\text{проц}} \leq t_{\text{доп}}$, если $V_{\text{проц}}(\tilde{I}(t), I_T, t_{\text{проц}}) < V_{\text{бз}}(\{p\}, t_{\text{доп}})$, то ресурс базы знаний СППР распределить рациональным способом на достижение максимального значения вероятности правильного отождествления ситуации, иначе – отказ от решения данной задачи.

Задача 5 (классификация)

Имеется $\tilde{I}(t)$, словарь признаков $E = \langle \xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_k \rangle$, алфавит классов ситуаций в районе мониторинга A , функции принадлежности $\mu(E, A)$, критерий оптимальности χ и решающие правила $\{D\}$, найти номер r^* некоторого класса объекта $r^* = D(\mu_1(E, A_1), \mu_2(E, A_2), \dots, \mu_\lambda(E, A_\lambda), \chi)$ посредством использования множества правил $\{D\}$ за время $t_{\text{проц}} \leq t_{\text{доп}}$, если $V_{\text{проц}}(\tilde{I}(t), r^*, t_{\text{проц}}) < V_{\text{бз}}(\{D\}, t_{\text{доп}})$, то ресурс базы знаний СППР распределить рациональным способом на достижение максимального значения вероятности правильной классификации ситуации, иначе – отказ от решения данной задачи.

Решение задач №1-5 обеспечивает необходимые и достаточные условия функционирования АСУ ТО. Задачи №1-5 относятся к классу плохо формализуемых, решение которых ищется в открытой постановке на основе применения человеко-машинных процедур, реализуемых с помощью СППР. Для их автоматизации принципиальным является формализация субъективных знаний, используемых в процессе решения задач. Постановки задач №1-5 должны учитывать нормативные ограничения на время их решения в конкретных условиях и для конкретных АСУ.

Последовательность решения задач №1-5, путем реализации вычислительных процедур (3.2)-(3.8) и их модификаций в задачах №4, 5 на моделях объектов управления типа (3.1) или типа (3.1)-(3.9) составляет формальную основу предлагаемой концепции управления процессом обработки информации в типовой геоинформационной СППР и задаёт структуру и состав

элементов её обобщённой модели. Данная концепция базируется на принципе взаимосвязанности процесса построения (обеспечения корректности существующей) модели геоинформационного поля функциональных задач АСУ ТО, пункта управления территориальной активностью и процесса оценки (распознавания ситуаций) оперативной обстановки по цифровой картографической информации. Корректное завершение первого процесса является необходимым условием правильного формирования вектора исходной информации для второго, с завершением которого выполняются достаточные условия реализации целевого предназначения системы.

Определение. Два процесса называются взаимосвязанными, если имеется функция (оператор) связи, задающая порядок и условия выполнения процессов относительно друг друга, например, как в (3.9).

Система управления ТО, обеспечивающая решение задач №1-5 с помощью геоинформационной СППР, представлена на рисунке 3.1. Здесь база знаний 1 содержит модели знаний для решения задач управления обработкой информации в постановках №1-3, а база знаний 2 – модели знаний для решения задач в постановках №4, 5.

Геоинформационный подход базируется на следующих принципах геоинформационной поддержки управления.[34] Основной принцип состоит в необходимости обеспечения соответствия собственного пространства или формы ТО и геоситуации их содержанию на этапах управления. Требования принципа состоят в том, чтобы ГИ в АСУ использовалась как единая основа для всех этапов управления; категории управления должны иметь территориальное выражение; представление и обработка геоданных должны обеспечивать активность ГИ в АСУ.

Под активностью ГИ в АСУ понимаются такие свойства и параметры организации ее представления и использования, при которых ГИ достигает уровня принятия решения (ПР). В задачах автоматизированного управления различается собственно активность ГИ и активность процессов ее использования.

ГИ активна в том случае, когда с ее помощью для ЛПР: системно представляется и отображается

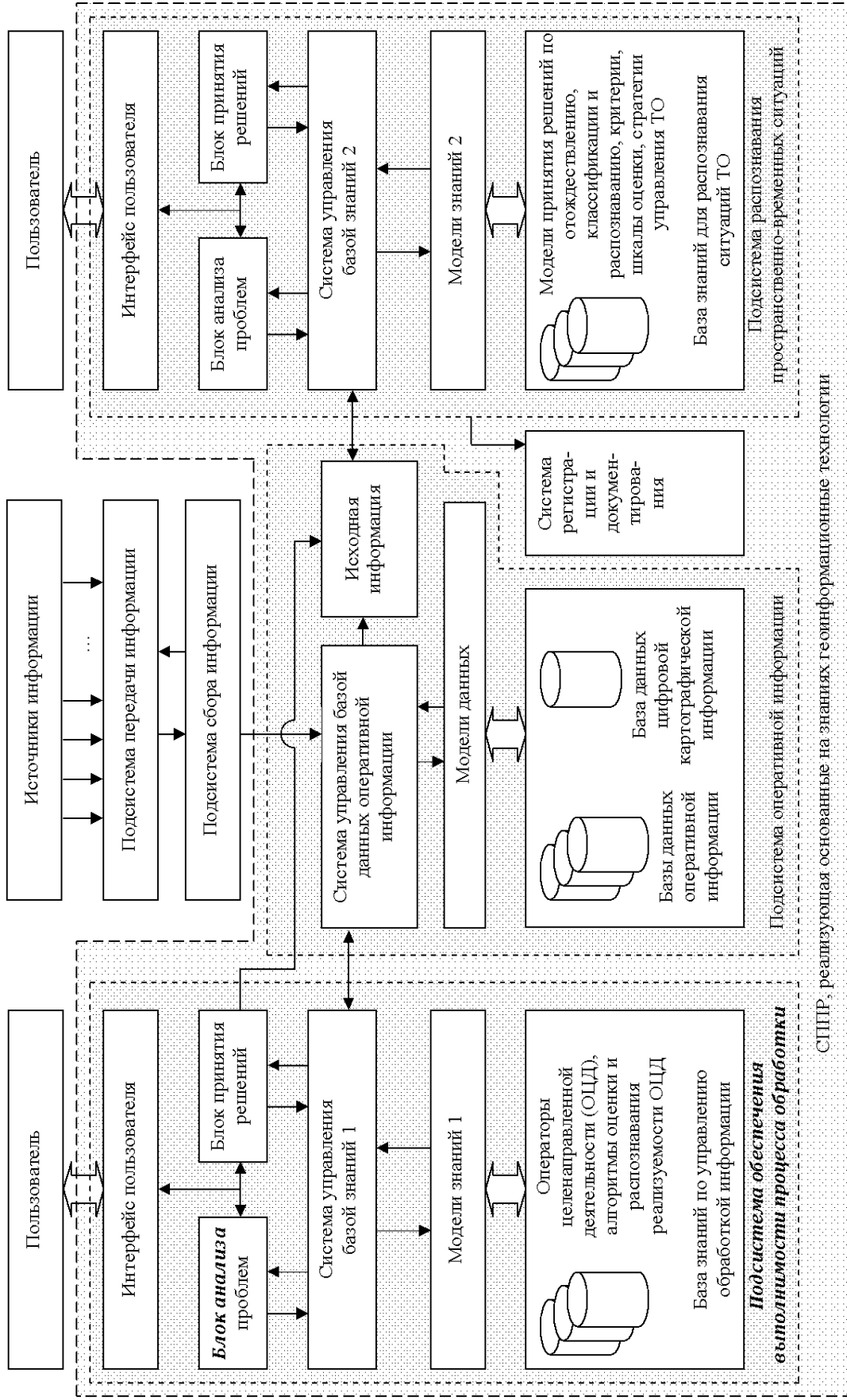


Рисунок 3.1 - Система управления защитой геoinформационного пространства

отображается окружающая обстановка; выделяются наиболее значимые факторы обстановки и оценки; показываются тенденции изменения этих факторов и оценок; описательные рекомендации руководящих документов получают пространственную интерпретацию и т.д. Процессы использования ГИ становятся активными, если в результате обработки ГИ на электронной карте (в геопространстве) показываются рекомендованные районы (области) и возможные варианты действий ТО.

Основной подход раскрывается в частных принципах: пространственного представления (хорологизации), абстрагирования (топологизации), анаморфирования (выравнивания плотностей, потенциалов, распределений), совместной обработки (геоинтегральности), геосистемности представления и использования геоинформации при решении задач управления в АСУ.

На основе сформулированных принципов определяется третья составляющая концепции – система методов и моделей представления и обработки геоинформации в АСУ.

3.2 Состав системы моделей и методов представления и обработки геоинформации в АСУ

В состав системы геомоделирования обстановки входят общие и частные геоинформационные методы обработки ГИ, а также формальные представления пространств, геоструктур и категорий управления.

Общие методы обработки ГИ применяются на всех этапах управления защитой для отображения и анализа обстановки. Они включают приемы и способы: ввода, согласования, хранения, преобразования, отображения и анализа геоинформации. Частные методы обеспечивают отдельные этапы управления ТО и включают геоинформационные методы: оценки обстановки, выработки рекомендаций, планирования и реализации решений.

Разработка геоинформационных методов поддержки управления осуществляется с помощью моделей представления геоинформации в АСУ:

модели геопространств; модели геоструктур; модели представления этапов и категорий управления. Состав группы моделей геопространств определяется, исходя из требований к форме представления и использования геоинформации со стороны этапов управления и методов геоинформационной поддержки принятия решений.[35]

Анализ обстановки требует: полноты данных обстановки; представления многомерности данных; отображения связей и взаимодействий объектов; учета решаемых задач. Этому требованию отвечает модель геоинформационного пространства.

Для выработки решения необходимо предварительно оценить обстановку и выполнить первичную селекцию геоинформации, чтобы выделить (высветить) районы, представляющие наибольший интерес. Для этого служит модель анаморфированного геопространства. Для прогнозирования развития ситуации, отображения динамики объектов обстановки, оценки последствий принимаемых решений вводится геофункциональное пространство. Для содержательного обобщения и территориального абстрагирования обстановки при выработке решения, т.е. для перехода к форме тактических документов, служит модель абстрактного функционального пространства.

Пространственные представления служат средой для построения геоструктур – территориальных объектов, регионов и систем. Модель ГО является формализацией отдельного конечного элемента пространства. Она описывает положение, форму, протяженность и другие параметры собственного пространства объекта или явления на или относительно конкретной ПЗ, а также осуществляет территориальное выражение его содержательных характеристик.

Геообъекты по признаку их содержательной и территориальной общности агрегируются в георегион (ГР). Модель ГР описывает конфигурацию, форму и другие параметры территориального распределения и собственного пространства

совокупности геообъектов, а также отображает в пространстве их содержательные параметры.

Геосистема (ГС) объединяет объекты и регионы пространства по принципу содержательно-системной целостности на основе общей (единой) территориальной принадлежности. Модель геосистемы наряду с входящими в нее ГО и ГР описывает связи и отношения между ними, а также (пространственно) выражает территориальный носитель собственного системного качества. Модели ГО, ГР, ГС составляют структурный базис для конструирования функциональных тематических элементов системы геокибернетического моделирования.[36]

В геопространствах с помощью базовых геоструктур строятся модели категорий и этапов управления – обстановки, решения, плана, оценки обстановки и т.д. По составу эти модели строятся из ГО, ГР и ГС. По содержанию они включают конкретное формализованное геоинформационное описание и наполнение понятий и процедур управления. Таким образом, отображаются пространственные и содержательные параметры категорий и этапов управления. С помощью моделей и методов представления и использования геоинформации строятся геоинформационные технологии поддержки управления ТО.

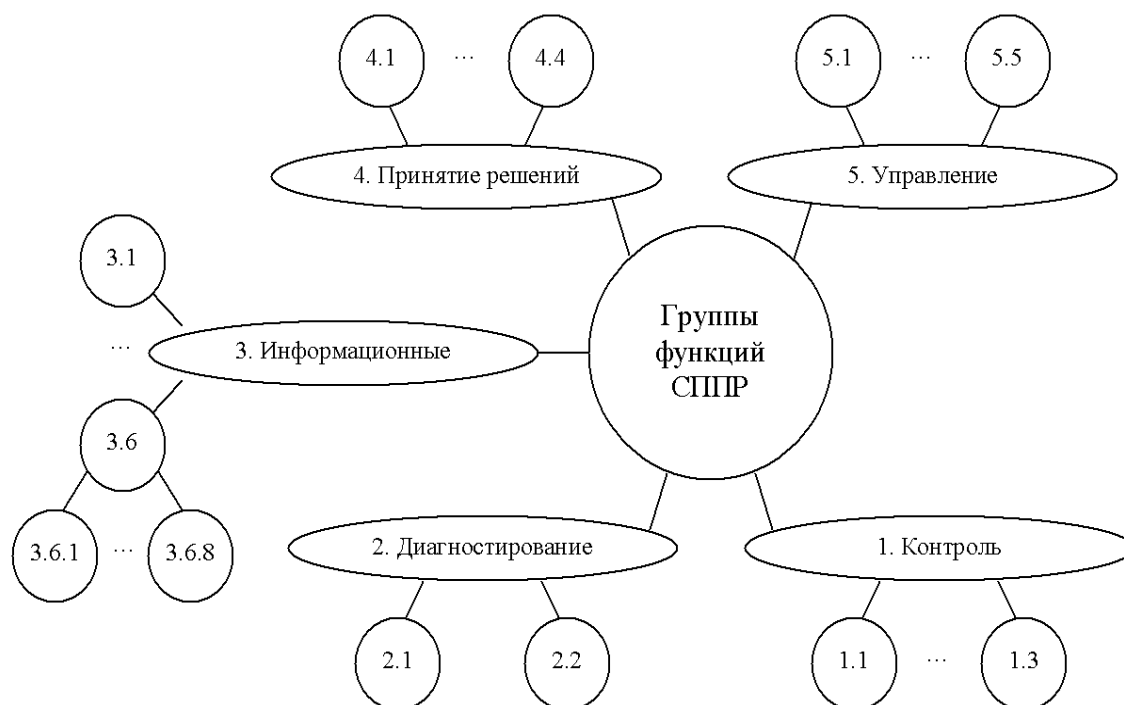
Совокупность положений, составляющих содержание концепции представления и использования геоинформации при управлении территориальными объектами, обеспечивает построение комплекса моделей и методов геоинформационной поддержки управления защитой геоинформационных пространств ТО.

3.3 Типизация и интеллектуализация основных функций и подсистем СППР

Системы поддержки принятия решений являются базовым компонентом подсистемы информационного интерфейса при взаимодействии ЛПР пунктов управления защитой ТО с комплексами средств автоматизации. При этом

реализуется достаточно объемный перечень функций управления, состав и структура которых условно показаны на рисунке 3.2.

В [36], [38] проведена классификация СППР нового поколения для территориальных АСУ и показана целесообразность выделения при проектировании трех следующих типов СППР: для управленцев верхнего уровня (их заместителей); для руководителей отделов и служб управления; для автоматизации работы ЛППР, занимающихся оперативным управлением. Состав функций типовых СППР при управлении защитой ТО представлен в таблице 3.1.



1.1. Измерение. 1.2. Определение дополнительных параметров. 1.3. Оценка и классификация событий; 2.1. Построение моделей ситуации. 2.2. Классификация состояния подсистем и системы; 3.1. Сбор. 3.2. Передача. 3.3. Хранение. 3.4. Обработка. 3.5. Защита; 3.6. Представление информации: 3.6.1. Буквенно-цифровое. 3.6.2. Графическое. 3.6.3. Многооконное. 3.6.4. Полиэкранное. 3.6.5. Мультимедиа. 3.6.6. Видео. 3.6.7. Аудио. 3.6.8. Электронная карта; 4.1. Генерация вариантов развития ситуации. 4.2. Уточнение (определение)

целей. 4.3. Синтез альтернатив и анализ предпочтений при их выборе. 4.4. Выбор решения; 5.1. Планирование. 5.2. Распределение ресурсов. 5.3. Организация работ. 5.4. Реализация решений. 5.5. Информирование о результатах реализации решений

Рисунок 3.2 - Спецификация основных функций СППР по управлению защитой ТО

СППР первого и второго типов в основном ориентированы на решение задач планирования. Они должны находиться в единой вычислительной сети, иметь возможности доступа в рамках своих полномочий к массивам оперативной информации по обстановке, отображения выработанных вариантов решения на индивидуальных табло и табло коллективного пользования, документирования результатов решения задач и исполнения документов по управлению ТО. Такие СППР целесообразно оснастить средствами подсказки, сервисными средствами геоинформационной технологии и видеоконференц-связи. Математическое и программное обеспечение этих СППР должны быть в основном ориентированы на возможность решения широкого круга расчетных и информационных задач управления ТО.

При реализации процессов хранения оперативной информации типовые СППР должны быть оснащены средствами создания видеобаз данных, баз данных, баз знаний и средств оперативного выпуска документов.[37]

СППР третьего уровня, предназначенные для оснащения пунктов управления действующими средствами наблюдения и связи и обеспечивающие информационную поддержку работы диспетчеров по управлению ТО, должны иметь свой состав технических, программных и информационных средств. Это связано в первую очередь со спецификой их функциональных обязанностей по оперативному управлению на основе контроля и учета состояния транспорта в данном звене управления. Специальное математическое и программное обеспечение должны реализовывать решения в режиме реального времени,

минимума операций ввода информации, возможностей документирования критических ситуаций обстановки, принимаемых решений по их разрешению, а также критических состояний в отношении связи и принимаемых решений по ее восстановлению.

Типовые СППР должны предоставлять возможности получения определенных информационных услуг ЛПР: организацию ведения переговоров с ЛПР различных объектов управления, возможность доведения команд и распоряжений по вычислительной сети до подчиненных. В условиях жесткого ограничения по

времени информационная поддержка деятельности ЛПР пункта управления должна осуществляться на основе интеллектуальных СППР, обеспечивающих выработку приемлемых, обоснованных, альтернативных вариантов принятия решений, обычный и геопространственный анализ обстановки, средств наблюдения, состояния ТО в условиях противоречивой и неполной информации и т. д.

С точки зрения ЛПР принципиальное значение имеет организация интерфейса пользователя [35]. В основе интерфейса лежит использование соответствующей оболочки базовой операционной системы. Интерфейс поддерживается разнообразными устройствами ввода/вывода, особенно при развитых функциях поддержки мультимедиа (видеокамеры, видеоманитофоны, телевизионные табло коллективного пользования и т. п.). В качестве сложных компонентов интерфейса могут также использоваться встраиваемые в СППР аппаратно-программные средства видеосвязи или компьютерной телефонии. Таким образом, интерфейс пользователя СППР может рассматриваться как иерархическая подсистема с модульной организацией, в основе которой лежит оболочка используемой операционной системы и которая может быть существенно развита при необходимости реализации различных информационных услуг в зависимости от места конкретной установки СППР.

Интеллектуализация СППР должна проводиться по двум основным направлениям: интеллектуализации интерфейса пользователя и задач управления ТО. В первом основные усилия прилагаются фирмами, занимающимися базовым программным обеспечением (ПО), а во втором – специалистами в области автоматизированной обработки информации и управления в конкретной предметной области.[39]

На рисунке 3.3 представлена обобщенная структура системы поддержки принятия решений по управлению ТО. СППР выделена из состава специального ПО и использует в своей работе базы геопространственных данных (БГД), обычные базы данных и базы знаний.

Отдельные функциональные компоненты архитектуры СППР взаимодействуют друг с другом с помощью шин системного интерфейса и общего поля памяти ПЭВМ. Логические возможности, вычислительная мощность и состав устройств ввода/вывода могут варьироваться в широких пределах в зависимости от конкретных требований к СППР. В последние годы резко возросло количество системных и технических предложений по применению мультимедиа и геоинформационных технологий и их интеграции в системах управления ТО [30], [35], [37], [40].

В СППР в зависимости от комплектации предусмотрена возможность использования речевых технологий – от распознавания ограниченного набора голосовых команд до организации аудиоконференц-связи в локальной сети пункта управления ТО. Видеотехнологии в составе СППР поддерживаются видеокамерами, видеомагнитофонами, телевизионными экранами. Особо следует выделить средства компьютерной видеосвязи видеосвязи (КВС), которые по совокупности своих возможностей являются наиболее характерным примером применения мультимедиа-технологий и могут рассматриваться как самостоятельный вид информационных услуг для широкого круга пользователей ПЭВМ [37].

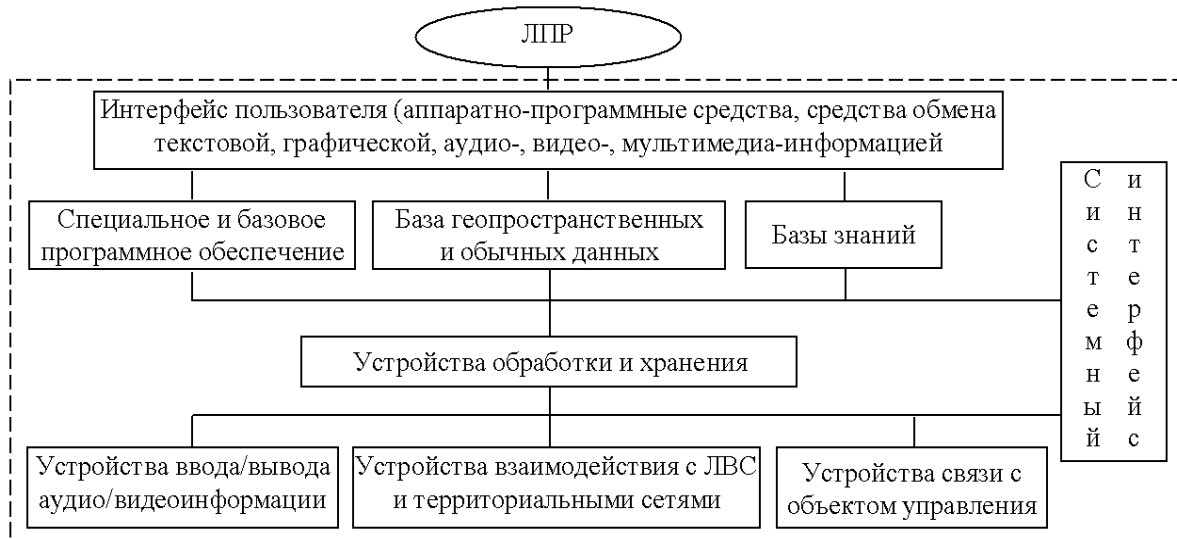


Рисунок 3.3 - Обобщенная структура СППР по управлению ТО

Все многообразие интеллектуальных средств, которые могут быть использованы для информационной поддержки управления ТО, можно представить в виде следующих трех классов:

- 1) системы поддержки принятия решений ситуационного типа для оперативного управления – СППР оперативного управления (ОУ);
- 2) системы поддержки принятия решений при планировании и организации средств управления – СППР планирования (ПЛ);
- 3) экспертные системы (ЭС) распознавания ситуаций (РС) обстановки и/или технической диагностики (ТД) состояния ТО.

В процессе управления эти системы взаимосвязаны между собой и образуют три уровня интеллектуальной поддержки. На первом уровне – ЭС РС распознают критические ситуации, например на контролируемых участках маршрутов, отдельных рубежах либо территории зоны ответственности пункта управления. ЭС ТД определяют состояние системы управления, ее элементов и выявляют причины (места) нарушений (сбоев). На втором – СППР ОУ по результатам анализа ситуаций обстановки обеспечивают выработку решений по управлению, на третьем – СППР ПЛ позволяют как откорректировать действующий план, так и обеспечить поддержку разработки новых планов.

3.4 Разработка архитектуры и алгоритмов унифицированных базовых наборов модулей интеллектуальных систем освещения обстановки на электронных картах, решающих типовые расчетные задачи в условиях неполноты и противоречивости исходных данных

Типовая структура базового ядра интеллектуальной геоинформационной системы поддержки принятия решений, состоит из совокупности модулей, в которых реализуются алгоритмы распознавания геоинформационных ситуаций. В свою очередь, их сервисное окружение может быть представлено в виде модулей: задания влияния контекста внешних условий, задания структуры и параметров обобщенной модели геоинформационных ситуаций или территориальных объектов, статистической обработки и представления результатов распознавания. [41] Структура базового ядра такой СППР представлена на рисунке 3.3.

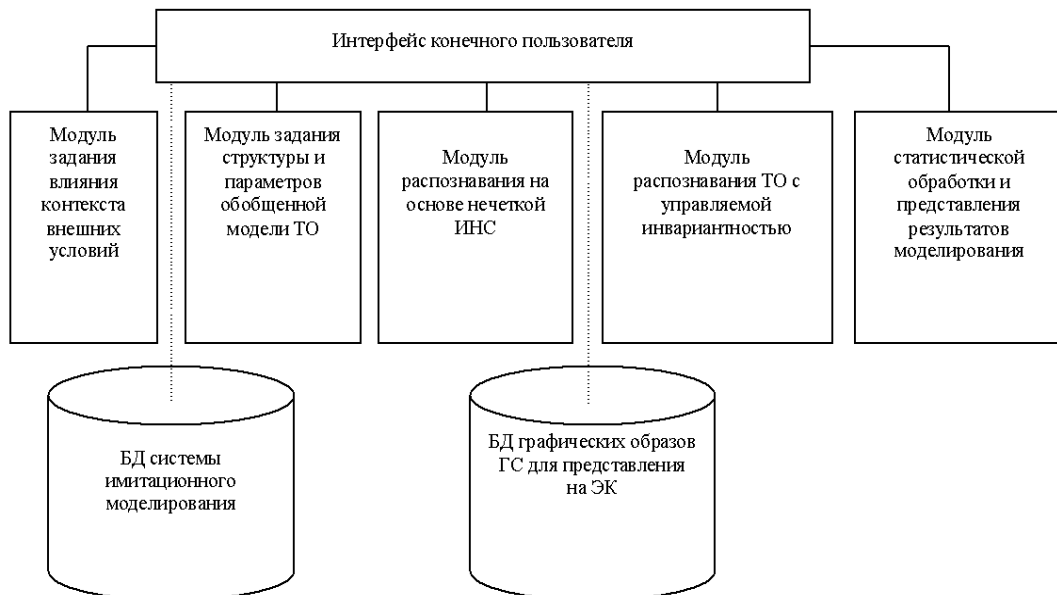


Рисунок 3.3 - Структура базового ядра интеллектуальной геоинформационной системы поддержки принятия решений

Стандартные средства имеющихся на рынке геоинформационных пакетов могут быть подключены дополнительно к базовому ядру в зависимости от особенностей решаемых задач.

Модуль статистической обработки и представления результатов распознавания геоинформационных объектов и ситуаций реализует как стандартные (графики, гистограммы), так и оригинальные (маршруты, зоны защиты) процедуры обработки данных. Модуль задания структуры и параметров модели ТО через интерфейс конечного пользователя реализует способ их описания. Следует отметить, что вариант реализации модуля задания влияния контекста внешних условий определяется конкретным типом первичного источника информации. При этом требуется рассмотрение физики процессов влияния внешней среды на результаты принятия решений в системе «ИИ – ТО – внешняя среда» в конкретных условиях его функционирования, что является самостоятельным исследованием. Далее более детально рассматриваются вопросы разработки лишь алгоритмов распознавания геоинформационных ситуаций, составляющих ядро СППР.

Модуль распознавания геоинформационных ситуаций на основе нечеткой искусственной нейронной сети. В распознавании образов нечеткие нейронные сети являются уникальным инструментом, позволяющим реализовать эффективное сочетание экспертных знаний с обучением к фактическому набору данных. Экспертные знания можно использовать как при выборе функций принадлежности лингвистических переменных, так и при выборе структуры и топологии нечеткой нейронной сети. В первом случае используются априорные знания об интервалах неопределенности входных переменных, а во втором – знания о логическом алгоритме классификации. Возможность вложить в структуру сети логические знания основана на подобии операции нечеткой логики и логических правил, которыми руководствуется человек при принятии решений. Значение функции принадлежности в этом случае интерпретируется как степень доверия к результату, а нечеткая нейронная сеть выполняет

агрегирование данных посредством последовательного выполнения операций fuzzy-логики «И», «ИЛИ».

Предлагаемый вариант сети в соответствии с рисунком 3.4 имеет четырехслойную модульную структуру и отражает экспертные рекомендации по эффективной последовательности логических операций. Во входном слое сети выполняется формирование лингвистических переменных «Структура», «Семантика 1», «Семантика 2», «Длина территориального объекта». Модули, помеченные символами « \cap » и « \cup », выполняют покоординатные композиции fuzzy-логики «И» и «ИЛИ».

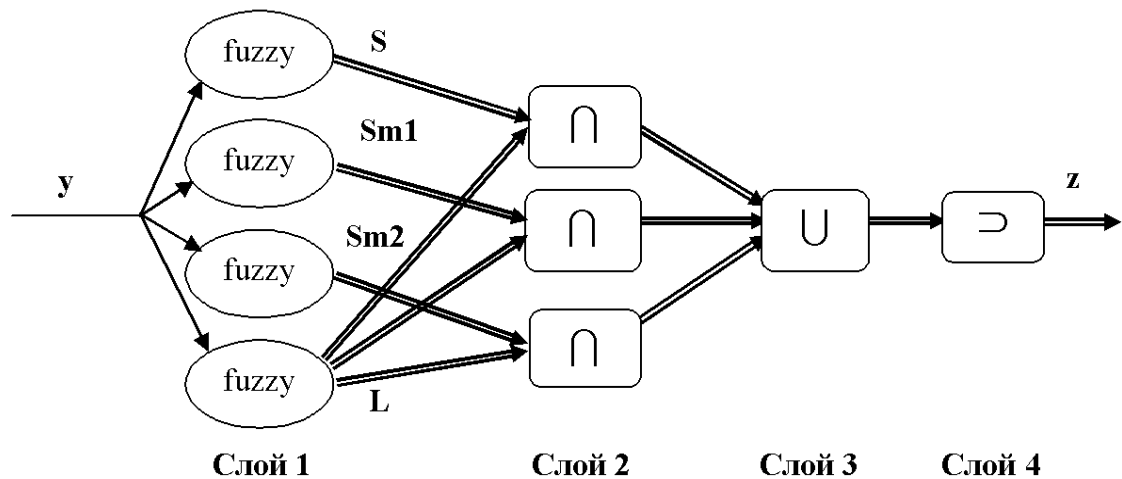


Рисунок 3.4-Нечеткая модульная нейронная сеть

Выходом сети является лингвистическая переменная с числом термов равным числу возможных типов территориальных объектов (плюс нулевой терм – «отказ от распознавания»). В последнем слое сети реализуется алгоритм усиления диагнозов.[42]

Построение контрастирующих функций активации нечетких искусственных нейронов. Типовые операции fuzzy логики (max-min композиции, min-max композиции, t -нормы, k -нормы и др.) имеют тот недостаток, что результат их выполнения не вполне отвечает интерпретации функций принадлежности как степени достоверности наших знаний. Например, если входные аргументы «И»-композиции имеют высокие значения (высокие степени доверия), то в случае совместных событий от результата «И»-композиции субъективно ожидается

более высокое значение, чем значение каждого аргумента в отдельности. Поскольку качество классификации по двум показателям с высокими степенями доверия, действующими совместно, должно быть лучше, чем по любому показателю в отдельности (при несовместных событиях результат типовой «И»-композиции нулевой, т.е. соответствует субъективно ожидаемому). Если значения аргументов на входе «И»-композиции малы (низкая степень доверия), то как при совместных, так и несовместных событиях логика операции «И» соответствует субъективно ожидаемой – степень доверия к результату «И»-композиции будет не выше чем к каждому событию в отдельности.

Аналогично для «ИЛИ»-композиции малые значения входных аргументов, отвечающие совместным событиям, должны усиливать друг друга, поскольку возрастает степень доверия к факту, что какое-то событие произошло. Напротив, если входные значения велики, а события им соответствующие являются несовместными, то тогда степень доверия к их «ИЛИ»-композиции субъективно ожидается ниже, чем каждого в отдельности (а при совместных событиях – не выше чем каждого в отдельности, что соответствует операции \max). Данные рассуждения приводят к необходимости использовать в fuzzy-композициях контрастирующие функции с пороговыми свойствами, которые учитывают совместность и несовместность событий и устанавливают границу между высокой и низкой степенью доверия. Контрастирующие функции можно рассматривать как функции активации нечетких нейронов.

Пространство нечетких переменных определено на интервале $[0 \div 1]$, поэтому от контрастирующей функции требуется, чтобы при изменении ее аргументов в диапазоне $[0 \div 1]$ значение функции принадлежало диапазону $[0 \div 1]$. Одним из возможных вариантов функции, обладающей данными свойствами (аналитическая форма для функций контрастирования), является показательная функция следующего вида [49]:

$$f_{\alpha}(x) = x^{b(1-x)^b}; \quad b > 0,$$

где переменная x является результатом выполнения логической операции и обычно рассматривается как выход нечеткого нейрона.

На рисунке 3.4 показаны графики функции активации с прямым ($\beta > 0$) и обратным ($\beta < 0$) контрастированием. Первый вариант пригоден для «И»-композиции, а второй – для «ИЛИ»-композиции.

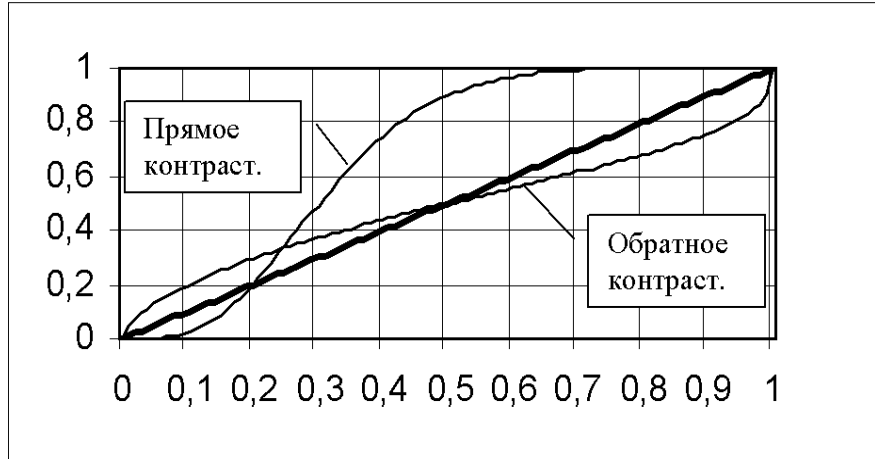


Рисунок 3.5 - Функции активации нечетких нейронов

Пороговое значение α определяется из условия пересечения функции активации с линией единичного усиления $\alpha = \alpha^{b(1-\alpha)^\beta}$. Логарифмируя левую и правую часть, получим $1 = b(1-\alpha)^\beta$. Данное соотношение позволяет определить значение порога в зависимости от параметров b, β . Степень контрастирования можно изменять, варьируя параметр β . Значение производной контрастирующей функции на уровне порога определяется выражением [49]:

$$\frac{df}{dx} = -\beta \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(\alpha) + 1.$$

Отсюда нетрудно получить, что:

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} \frac{df}{dx} = 1, \quad \lim_{\alpha \rightarrow 1} \frac{df}{dx} = 1 + \beta.$$

Из данных соотношений следует, что глубина контрастирования возрастает при увеличении порогового уровня и падает до минимума, если пороговый

уровень стремится к нулю. В том случае, когда необходим обратный характер изменения глубины контрастирования, можно использовать активационную функцию вида [48]:

$$\varphi_{\alpha}(x) = 1 - f_t(1 - x) \text{ при пороговом условии } \alpha = 1 - t.$$

Использование контрастирующих функций в нечеткой логике позволяет получить корректную субъективную интерпретацию базовых логических операций. Нечеткие нейроны с контрастирующими функциями активации существенно расширяют область применения нечетких нейронных сетей. Обработка данных в нечеткой нейронной сети осуществляется по следующему алгоритму.

Первый слой. В нейронном слое формируются нечеткие лингвистические переменные: «Структура» – S , «Семантика 1» – Sm_1 , «Семантика 2» – Sm_2 , «Длина объекта» – L . Алгоритмы фаззификации были изложены выше.

Второй слой. В слое выполняется поразрядное контрастное логическое умножение векторов функций принадлежности.

$$\begin{aligned} y_1(k) &= S(k) \& L(k) = Cntr_{0.2}(\min(S(k), L(k))), \\ y_2(k) &= Sm_1(k) \& L(k) = Cntr_{0.2}(\min(Sm_1(k), L(k))), \\ y_3(k) &= Sm_2(k) \& L(k) = Cntr_{0.2}(\min(Sm_2(k), L(k))). \end{aligned}$$

Операция логического умножения контрастируется функцией $Cntr_{\alpha}(x) = x^{b(1-x)^{\beta}}$ с пороговым значением $\alpha = 0.2$ и параметром $\beta = 1$.

Третий слой. В слое выполняются поразрядное контрастное логическое сложение

$$z(k) = Cntr_{0.5}^{-}(\max(y_1(k), y_2(k), y_3(k))).$$

Функция обратного контрастирования с параметром $\beta = -0.6$ имеет пороговое значение $\alpha = 0.5$. Выходом третьего слоя является композиционная функция принадлежности распознаваемого образа к набору эталонов.

Четвертый слой. В нейронном слое реализовано усиление диагнозов. Операции в слое выполняются, когда координаты $z(k)$ и $z(j)$ имеют близкие значения.

$$\gamma_z = \frac{\max(z(k), z(j)) - \min(z(k), z(j))}{\max(z(k), z(j))} < 0.2.$$

В этом случае проверяются частные диагнозы по переменным y_1, y_2, y_3 в порядке предпочтений $y_1 \succ y_2 \succ y_3$.

Алгоритм:

Если $\gamma_z < 0.1$ тогда

если $\gamma_1 \geq 0.2$ и $y_1(k) > y_1(j)$, то $z(j) = z(k)(1 - \gamma_1)$,

иначе, если $\gamma_2 \geq 0.2$ и $y_2(k) > y_2(j)$, то $z(j) = z(k)(1 - \gamma_2)$,

иначе, если $\gamma_3 \geq 0.2$ и $y_3(k) > y_3(j)$, то $z(j) = z(k)(1 - \gamma_3)$.

Обобщенный алгоритм обработки информации и классификации территориальных объектов на основе нечетких искусственных нейронных сетей (ИНС) представлен на рисунке 3.5.[44]

Под номером 1 обозначен цикл, в котором ведется сравнение входного образа с каждым имеющимся эталонным образом. В сущности, в этом цикле заключены основные этапы классификации: фаззификация и композиция функций принадлежности. На выходе получаем вектор принадлежности входного образа набору эталонных.

Блок 2 – это реализация первого слоя нечеткой нейронной сети, т.е. фаззификация. В результате его работы формируются нечеткие лингвистические переменные: принадлежность по энтропии – $S(k)$ («Структура территориального

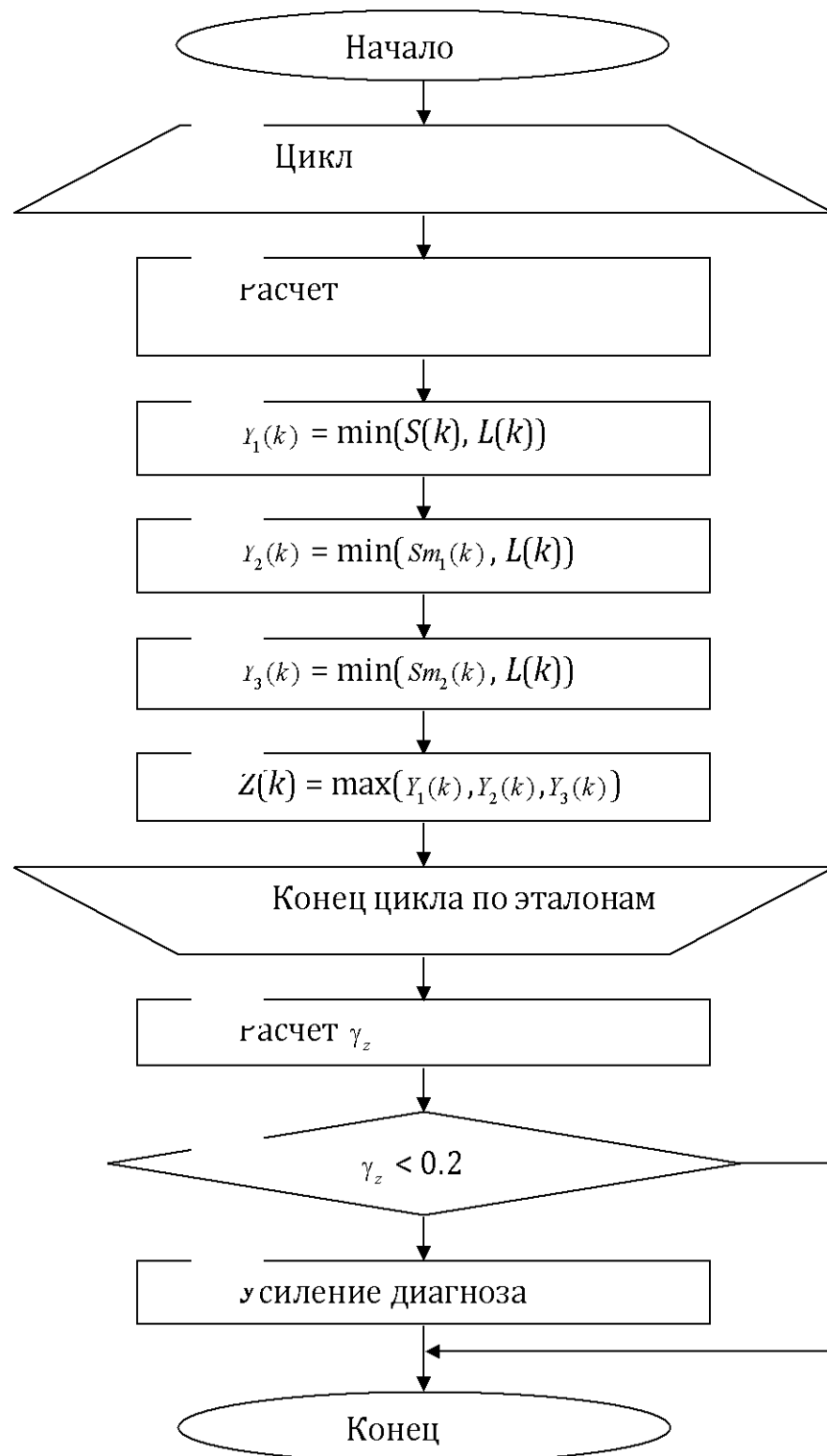


Рисунок 3.6 - Обобщенный алгоритм распознавания линейных территориальных объектов на основе искусственных нейронных сетей

объекта»), принадлежность по семантикам – $Sm_1(k)$ («Семантика 1») и $Sm_2(k)$ («Семантика 2»), принадлежность по длительности – $L(k)$ («Длина территориального объекта»).

Блоки с 3-го по 5-й реализуют второй слой нейронной сети, в котором выполняется поразрядное контрастное логическое умножение векторов функций принадлежности.

$$Y_1(k) = S(k) \& L(k) = Cntr_{0.2}(\min(S(k), L(k))).$$

$$Y_2(k) = Sm_1(k) \& L(k) = Cntr_{0.2}(\min(Sm_1(k), L(k))).$$

$$Y_3(k) = Sm_2(k) \& L(k) = Cntr_{0.2}(\min(Sm_2(k), L(k))).$$

Функция контрастирования:

$$Cntr_{\alpha}(x) = x^{b(1-x)^{\beta}}, \alpha = 0.2 \text{ – пороговое значение, } \beta = 1.$$

Шестой блок – это третий слой нейронной сети. В нем выполняется поразрядное контрастное логическое сложение векторов, полученных как результат с предыдущего слоя:

$$Z(k) = Y_1(k) \oplus Y_2(k) \oplus Y_3(k) = Cntr_{0.5}(\max(Y_1(k), Y_2(k), Y_3(k))).$$

Функция контрастирования:

$$Cntr_{\alpha}(x) = x^{b(1-x)^{\beta}}, \alpha = 0.5 \text{ – пороговое значение, } \beta = -0.6 \text{ (обратное}$$

контрастирование). Выходом третьего слоя является композиционная функция принадлежности распознаваемого образа к набору эталонов.

С блока 7 начинается четвертый слой нечеткой нейронной сети, в котором, если это необходимо, происходит усиление диагнозов предыдущего слоя и выхода всей сети. Четвертый слой выполняется в том случае, когда координаты $Z(k)$ и $Z(j)$ (причем $k \neq j$) имеют близкие значения. γ_z – это показатель, насколько близкие значения присутствуют в векторе, и вычисляется он следующим образом.

$$\gamma_z = \frac{\max(Z(k), Z(j)) - \min(Z(k), Z(j))}{\max(Z(k), Z(j))}.$$

В блоке 8 происходит сравнение показателя, полученного по вышеуказанной формуле, с пороговым доверительным значением ($\gamma_z < 0.2$) и принимается решение о необходимости произвести усиление диагноза. Если условие не выполняется, объект максимально классифицирован и усиления диагноза не требуется, процесс заканчивается, иначе переходим к блоку 9.

В блоке 9 происходит усиление диагноза: проверяются частные диагнозы по переменным $Y_1(k)$, $Y_2(k)$, $Y_3(k)$ в порядке предпочтений $Y_1(k) \succ Y_2(k) \succ Y_3(k)$. Для этого из $Y_1(k)$, $Y_2(k)$ и $Y_3(k)$, как и в блоке 7, вычисляются γ_1 , γ_2 и γ_3 . Далее значения вычисляются по приведенному ниже алгоритму:

Если $\gamma_1 \geq 0.2$ и $Y_1(k) > Y_1(j)$, то $Z(j) = Z(k)(1 - \gamma_1)$

Иначе, Если $\gamma_2 \geq 0.2$ и $Y_2(k) > Y_2(j)$, то $Z(j) = Z(k)(1 - \gamma_2)$

Иначе, Если $\gamma_3 \geq 0.2$ и $Y_3(k) > Y_3(j)$, то $Z(j) = Z(k)(1 - \gamma_3)$

Алгоритм реализующий функцию разделения потока на линейные объекты электронной карты представлен на рисунке 2.5. Для работы на вход алгоритма нужно подать последовательность, принятую с канала связи источника информации. Выходными данными является список линейных объектов, найденных алгоритмом в потоке.

Блок 1 этого алгоритма содержит простой цикл, который пропускает во входной последовательности первоначальные нулевые сигналы. С появлением на входе первого значащего символа цикл передает управление дальше.

Блок 2 содержит простой цикл, который пропускает во входной последовательности ненулевые сигналы до появления на входе нуля. После этого символа цикл передает управление дальше.

В блоке 3 происходит подсчет нулевых символов во входном потоке. Подсчет прекращается с появлением на входе первого значащего символа. После этого цикл передает управление дальше.

В блоке 4 проверяется условие: если счетчик нулей из третьего блока равен пяти или более (это означает, что найден признак разделения на линейные

объекты или входная последовательность завершилась), то происходит переход на блок 5, иначе алгоритм переходит на блок 6.

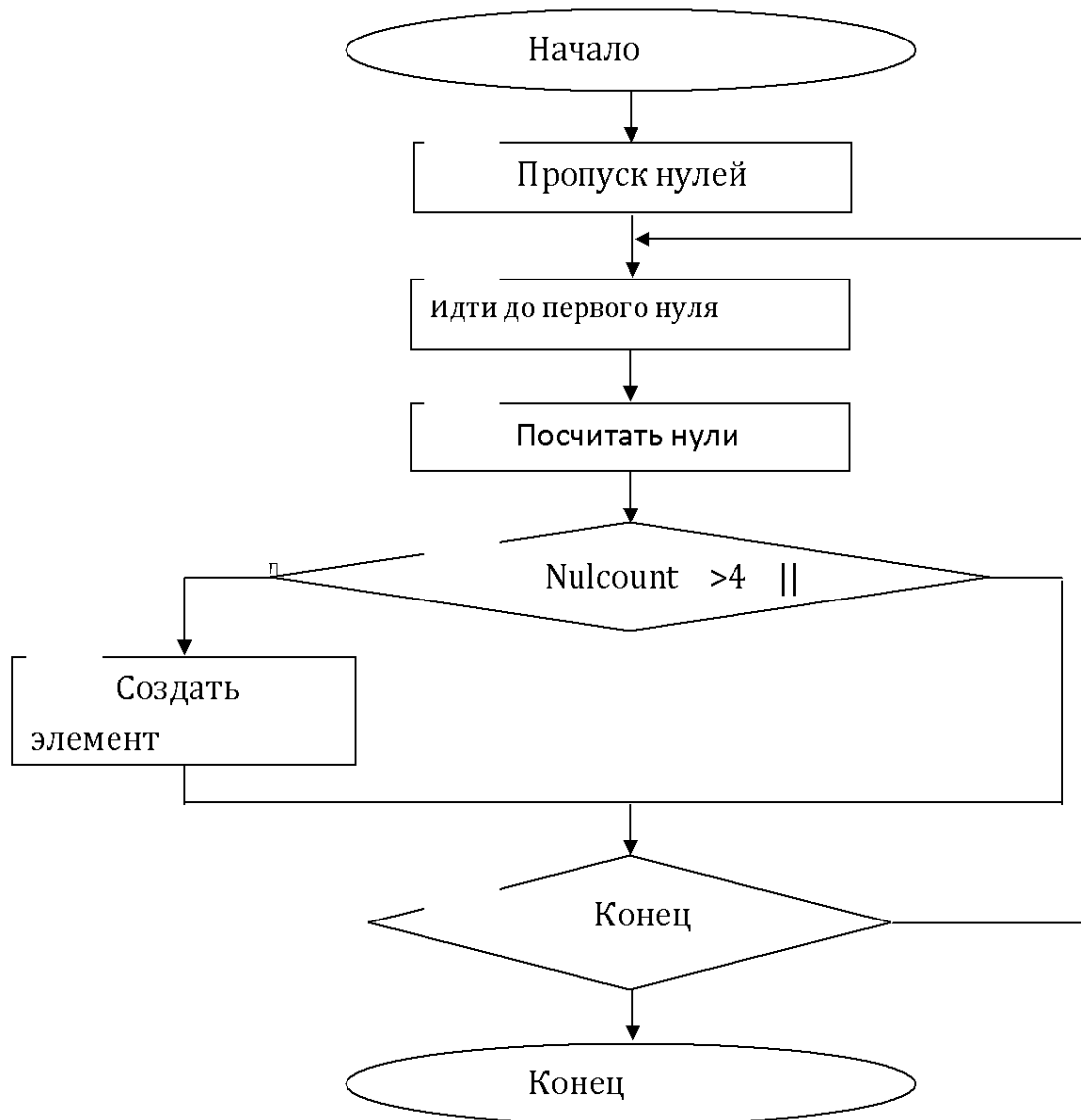


Рисунок 3.7 - Алгоритм разделения потока на линейные ТО

В блоке 5 создается новый элемент списка линейных объектов. В него записываются сам линейный объект и некоторые его характеристики: фактическая длина, предполагаемый порядковый номер и т.д.

В блоке 6 происходит проверка: если входная последовательность закончилась, то происходит возврат полученного списка и завершение алгоритма, иначе (если в потоке еще есть объекты) – происходит переход на блок 2, и алгоритм продолжается.

Разработанный алгоритм распознавания территориальных объектов с управляемой инвариантностью представлен на рисунке 2.10. Для его работы на вход алгоритма нужно подать информационные образы ТО, которые были получены от первичных ИИ. Данные информационные образы ТО представляются массивами длин векторов, индексами и значениями угловых расстояний между ними, порядком их обхода, яркостью центральной точки ТО, а в случае необходимости, например, для ТО, нанесенных на электронную карту, – кодировкой цвета векторов. Выходными данными является список распознанных территориальных объектов. В блоке 2 для ускорения процедур поиска и сортировки производится предварительное упорядочение массивов длин векторов, осуществляется индексация их угловых значений, посредством упорядочивания номеров векторов задается правило их обхода. Упорядочение информационных признаков образов ТО производится при помощи стандартных процедур быстрой сортировки.

В блоке 3 посредством задания произвольного числа и/или интервалов нечеткости информационных признаков, участвующих в распознавании ТО, реализована возможность управления инвариантными свойствами эталона ТО в зависимости от качества исходной информации для конкретного ИИ или их группы. В блоках 6-8 реализуются процедуры вычисления и проверки принадлежности к классу эталона V^P принятых от ИИ подмножеств V^S , с помощью одиночных или группы информационных признаков вида [12, 21]:

$$g_i = \max_j p_{\angle \mathbf{v}_i^p \mathbf{v}_j^s}(\mathbf{v}_j^s) p_{x_{i1}^p, y_{i1}^p}(\mathbf{v}_j^s) p_{l_i^p / l_j^s}(\mathbf{v}_j^s) \text{ для всех } i = \overline{1, N_p}. \quad (3.10)$$

Под $p_{\angle \mathbf{v}_i^p \mathbf{v}_j^s}(\mathbf{v}_j^s)$, $p_{x_{i1}^p, y_{i1}^p}(\mathbf{v}_j^s)$, $p_{l_i^p / l_j^s}(\mathbf{v}_j^s)$ обозначены оценки плотностей распределения вероятности угла, положения и отношения длин векторов \mathbf{v}_i^p и \mathbf{v}_j^s . Эти плотности моделировались контуром Гаусса:

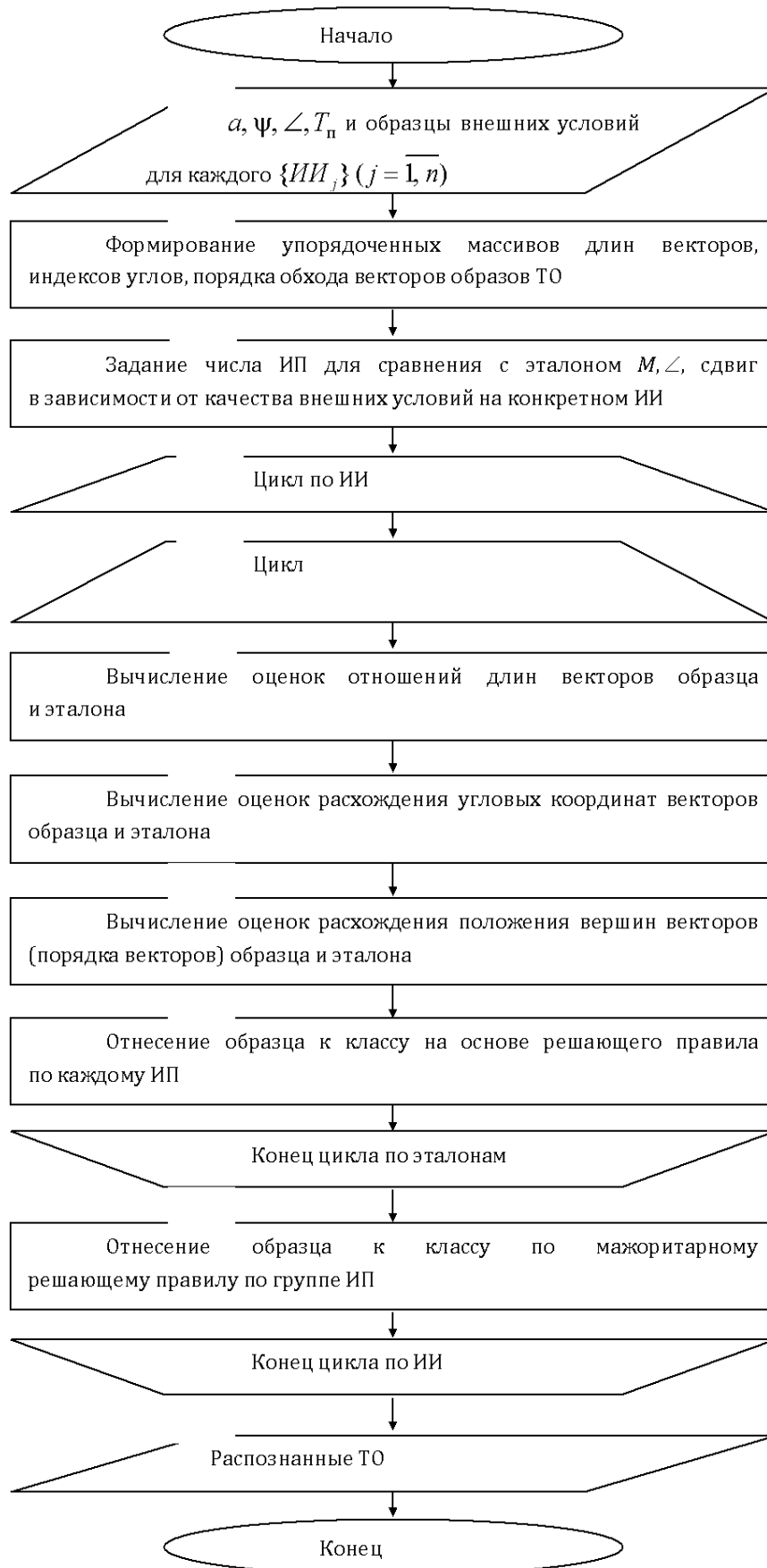


Рисунок 3.8 - Обобщенный алгоритм распознавания территориальных объектов с управляемой инвариантностью

$$y = c \times \exp \left[- \left(\frac{x}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (3.11)$$

где параметры σ есть ошибки измерения величин и c – нормировочный множитель – обычно берется равным 1. В этом случае признаки будут иметь вид:

$$g_i = \max_j \exp \left\{ - \left[\begin{array}{l} (\angle \mathbf{v}_i^p \mathbf{v}_j^s)^2 / \sigma_{\mathbf{v}_i^p \mathbf{v}_j^s}^2 \\ + (x_{i1}^p - x_{j1}^s)^2 / \sigma_{x_{i1}^p}^2 \\ + (y_{i1}^p - y_{j1}^s)^2 / \sigma_{y_{i1}^p}^2 \\ + (\|\mathbf{v}_j^s\| / \|\mathbf{v}_j^p\| - 1)^2 / \sigma_{l_i^p / l_j^s}^2 \end{array} \right] \right\}, \quad (3.12)$$

где $\sigma_{\mathbf{v}_i^p \mathbf{v}_j^s}^2, \sigma_{x_{i1}^p}^2, \sigma_{y_{i1}^p}^2, \sigma_{l_i^p / l_j^s}^2$ – соответствующие ошибки измерения.

В блоке 9 вектор признаков $G = \{g_i\}$ использовался для построения решающего правила на основе метода потенциальных функций. Для машинной реализации этого метода разделяющая функция $f(x)$ для двух решений по отнесению объекта на шаге обучения $(n+1)$ преобразовывалась по следующему общеизвестному правилу [5, 20,21]:

$$f[n+1](G) = f[n](G) + \gamma[n+1]K(G[n+1], G), \quad (3.13)$$

где потенциальная функция $K(x, y)$ удовлетворяет следующим условиям:

$$\begin{aligned} K(x, x) &> 0, & K(x, y) &= K(y, x), \\ K(x, y) &< A, & K(x, y) &\leq K(x, x). \end{aligned} \quad (3.14)$$

Условия для последовательности $\gamma[n]$ приведены в [5]. В качестве ядра $K(x, y)$ использовалось произведение упомянутого контура Гаусса. При отсутствии возможности проводить более одного шага обучения следует использовать решающее правило в виде:

$$f_-(G) = K(G, \alpha G_1) - K(G, \beta G_1), \quad (3.15)$$

где G_1 – вектор, компоненты которого равны 1; α и β – константы, подбираемые для конкретной задачи, такие что $1 \geq \alpha, \beta \geq 0$. Оба слагаемых в (2.6) имитируют два объекта обучающей последовательности, один из которых входит в данный класс, а второй не входит в него.[45]

В блоке 11 для случая использования всего пространства информационных признаков реализовывалась процедура отнесения образца к эталону на основе мажоритарного правила (правила по большинству).

Выводы по главе:

Выделяются два уровня защиты, макро-уровень и микро-уровень. Два уровня обуславливаются необходимостью учета взаимодействия подсистем территориальных объектов, обстановки и состояния внешней геосреды. Решение многообразия задач управления защитой требует соответствующего информационного ресурса, базирующегося на едином подходе к описанию пространственной и атрибутивных видах информации, что полностью описано в задачах.

Совокупный состав геоинформационных данных используемых в моделях обеспечивает управление пространством территориальных объектов наблюдения. Территориальные объекты входят в состав содержания концепции представления и использования геоинформации.

Системы поддержки принятия решения направлены на принятие решение задач планирования и оперативного управления. Распределение СППР можно ранжировать, как типовые и интеллектуальные.

СППР остаются только вспомогательным инструментом, окончательное решение может быть принято только ответственным лицом.

Предлагаемые варианты архитектуры и алгоритмов использованы в практических задачах и показали высокую точность решения поставленных задач, что в свою очередь подтверждено теоретическими расчетами и модельными исследованиями.

Глава 4 Оценки уязвимости природных зон в различные временные интервалы.

4.1. Оценка чувствительности морских побережий к различным видам антропогенного воздействия.

Под уязвимостью организмов понимают совокупность особенностей реагирования отдельных видов или групп растений и животных, являющихся компонентами морских и прибрежных экосистем, на различные формы антропогенного воздействия и способность восстанавливать исходное обилие и структуру популяций по окончании воздействия.

При оценке чувствительности морских побережий к различным видам антропогенного воздействия, при разработке мероприятий по ликвидации аварийных разливов нефти (ЛРН) используется методика оценки интегральной экологической чувствительности [1-4].

Она определяется:

чувствительностью отдельных групп растений и животных к конкретным видам воздействия;

способностью восстанавливать исходное обилие и структуру популяций, а также всю совокупность внутрисистемных связей после осуществления воздействия. Поэтому группы организмов, более подверженные воздействиям, но и быстро восстанавливающиеся (например, планктон), имеют более низкие коэффициенты относительной уязвимости, чем более медленно восстанавливающиеся группы организмов (рыбы, птицы и млекопитающие).

Специалистами разработана методика картирования экологически уязвимых прибрежных районов, основанная на следующих предпосылках:

- для полноты характеристики рассматриваемых экосистем и во избежание критических замечаний со стороны общественности, сторонних специалистов и экспертных организаций, объектами рассмотрения являются *все* основные группы растений и животных, обитающие в регионе;

относительная уязвимость различных компонентов экосистем к прогнозируемым воздействиям задается исходя из накопленных знаний (см. табл. 4.1) и корректируется специалистами с учетом местной специфики;

изменения уязвимости отдельных групп организмов на протяжении года характеризуются путем построения сезонных карт распределения;

для построения тематических и обобщающих карт используются географические информационные системы;

интегральная уязвимость региона определяется как результат суммирования уязвимости территории или акватории по отдельным группам растений и животных, с учетом их индивидуальной чувствительности к воздействиям, способности к восстановлению, пространственного и сезонного распределения.

Потенциальная экологическая уязвимость акватории к антропогенному воздействию определяется не только различной экологической уязвимостью организмов к рассматриваемым видам воздействия, но и пребыванием на ней видов или групп растений и животных в том или ином количестве (или их отсутствием). Бальная оценка учитывает не только чувствительность отдельных организмов к различным воздействиям, но и тяжесть последствий этих воздействий для популяций с учетом потенциала восстановления численности. Потенциал восстановления численности обусловлен особенностями экологии видов и репродуктивными возможностями, свойственными разным группам растений и животных

Относительная уязвимость различных компонентов экосистем к прогнозируемым воздействиям задается исходя из накопленных знаний и корректируется специалистами с учетом местной специфики.

Таблица 4.1-Относительная уязвимость различных компонентов морских экосистем к основным видам антропогенных воздействий в прибрежье.

Компонент экосистемы	Коэффициент относительной уязвимости *				
	Геофизическая сейсмическая съемка	Увеличение количества взвеси в воде	Дампинг грунта	Нефтяная пленка	Диспергированная нефть
Фитопланктон	1	3	1	1	2
Зоопланктон	2	4	1	2	3
Макроводоросли	1	5	5	2	3
Сосудистые растения	1	1	2	3	2
Донные беспозвоночные	1	3	5	2	3
Рыбы (икра, мальки)	5	5	4	4	5
Рыбы (взрослые особи)	4	4	3	2	3
Птицы	2	3	2	5	2
Китообразные	3	1	1	4	2
Ластоногие	3	2	1	5	3

Примечание. «1» - наименьшая чувствительность, «5» - наибольшая чувствительность

Количественная оценка потенциальной экологической уязвимости акватории будет изменяться во времени и пространстве в соответствии с естественной динамикой состава, обилия и структуры биологических сообществ акватории.

Оптимальной формой представления информации признано картирование на основе ГИС технологии. В качестве базовых используются данные о распределении организмов, составленные для наиболее важных видов или групп видов преимущественно посезонно. Карты-схемы в дальнейшем подвергаются оцифровке и представляются в виде отдельных «слоев» в ГИС. В качестве отдельного «слоя» создается регулярная сетка, размеры ячеей которой определяются исходя из минимальных размеров контуров на картах-схемах. Для

каждого контура в полях таблицы записывают сведения о наличии объекта или показатели, характеризующие его обилие. Величина показателя уязвимости определяется числом объектов в границах ячейки и уязвимостью организмов к определенному виду воздействия. Данные о распространении объектов умножают на коэффициенты их уязвимости и суммируют по отдельным группам растений и животных с учетом их индивидуальной чувствительности к воздействиям, способности к восстановлению, пространственного и сезонного распределения. Для составления итоговых карт полученные значения уязвимости ранжируют путем перевода их в пятибалльную, равномерную шкалу. Балльная оценка учитывает не только чувствительность отдельных организмов к различным воздействиям, но и тяжесть последствий этих воздействий для популяций с учетом потенциала восстановления численности. Потенциал восстановления численности обусловлен особенностями экологии видов и репродуктивными возможностями, свойственными разным группам растений и животных.

макроводоросли;

высшая водная растительность;

донные животные (преимущественно макробентос);

ихтиопланктон;

рыбообразные (миноги);

взрослые особи рыб (преимущественно промысловые, массовые и включенные в Красные книги различного ранга);

птицы (преимущественно массовые и включенные в Красные книги различного ранга, редко - орнитофауна в целом);

ластоногие и китообразные (массовые и редкие, охраняемые виды); и

околоводные млекопитающие (преимущественно редкие, охраняемые виды).

Концентрация организмов в связи с особенностями их жизненного цикла (питания, размножения, миграций, линьки) - один из основополагающих критериев при составлении карт экологически уязвимых зон, например, при

планировании мероприятий по ликвидации аварийных разливов нефти (ЛАРН) на море. Некоторые варианты представления информации по уязвимости морских акваторий даются в публикациях Международной ассоциации представителей нефтяной промышленности по охране окружающей среды. Стандартным итогом использования этого подхода оказываются атласы распределения организмов, вызвавших наибольший интерес участвующих в работе специалистов (обычно это рыбы, птицы и морские млекопитающие). Уязвимость на таких картах часто отображается градациями цвета, отдельные виды - условными знаками, а сезонность обозначается специальной кодировкой.

Ограничениями использования таких карт Лицами принимающими решения (ЛПР), служит их большое число и необходимость ранжирования многих групп организмов (или видов) по приоритетности. Построенные карты распределения отдельных видов и групп организмов, характеризующих распределение рассматриваемых объектов в сезонном аспекте. Охватывают они около 40 групповых (планктон, бентос, птицы) или видовых (рыбы, тюлени) объектов. Объектами рассмотрения являются все основные группы растений и животных, обитающих в регионе.

При проектировании аварийных разливов нефти и принятии оперативных решений, важной информацией служат данные о наличии на рассматриваемой территории особо охраняемых природных территорий (ООПТ); обитании видов, включенных в красные книги различного ранга; концентрации организмов, обусловленной особенностями их жизненного цикла (питание, размножение, миграции, линька) и других экологических особенностей береговой зоны. Наглядным отображением результатов подобной оценки обычно служат карты распределения экологически уязвимых участков в пределах рассматриваемой прибрежной территории.

Назначение и область применения карт ООПТ:

оценка чувствительности морских акваторий и прибрежных морских мелководий к операциям, связанным с разработкой шельфовых месторождений полезных ископаемых, в первую очередь - углеводородов;

-обоснование и планирование мероприятий по предотвращению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов и их последствий.

Ограничения на применение:

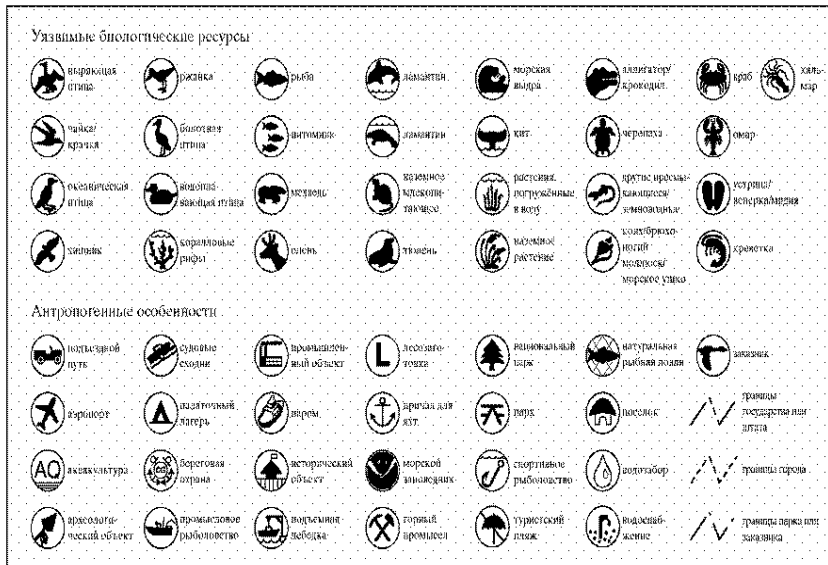
разработанный подход ориентирован, главным образом, на конкретные виды воздействия и, в первую очередь - на разливы нефти и нефтепродуктов. В последнем случае методика учитывает эффекты воздействия загрязнения только на те живые организмы, которые непосредственно контактируют с нефтяным пятном и для оценки последствий хронического загрязнения морских акваторий нефтью и другими загрязняющими веществами нуждающимися в доработке;

результат оценки не учитывает экономические потери, которые могут явиться следствием операций, связанных с разработкой шельфовых месторождений нефти. При оценке ущерба рыболовству требуется более детальная информация за годы, предшествующие оценке, и знание планов развития рыболовства в рассматриваемых районах на перспективу;

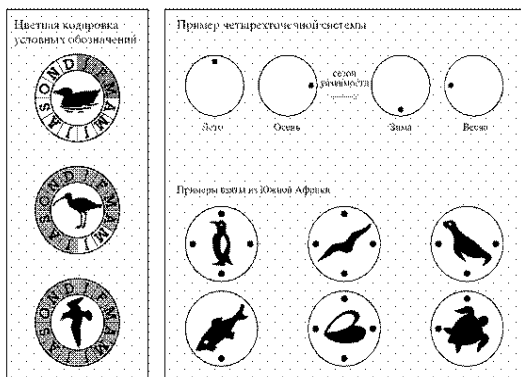
для оценки долгосрочных последствий загрязнения моря нефтью или продуктами ее переработки необходимо рассмотрение альтернатив по ликвидации аварийных разливов, знание закономерностей деструкции нефти в конкретном районе и учет особенностей ее взаимодействия на морские экосистемы конкретной акватории

Значительное внимание составлению карт экологически уязвимых зон уделяется при планировании мероприятий по ликвидации аварийных разливов нефти на море. В частности, форма представления информации по уязвимости морских акваторий дается в публикациях Международной ассоциации представителей нефтяной промышленности по охране окружающей среды. Стандартным итогом использования этого подхода оказываются атласы распределения организмов, вызвавших наибольший интерес участвующих в

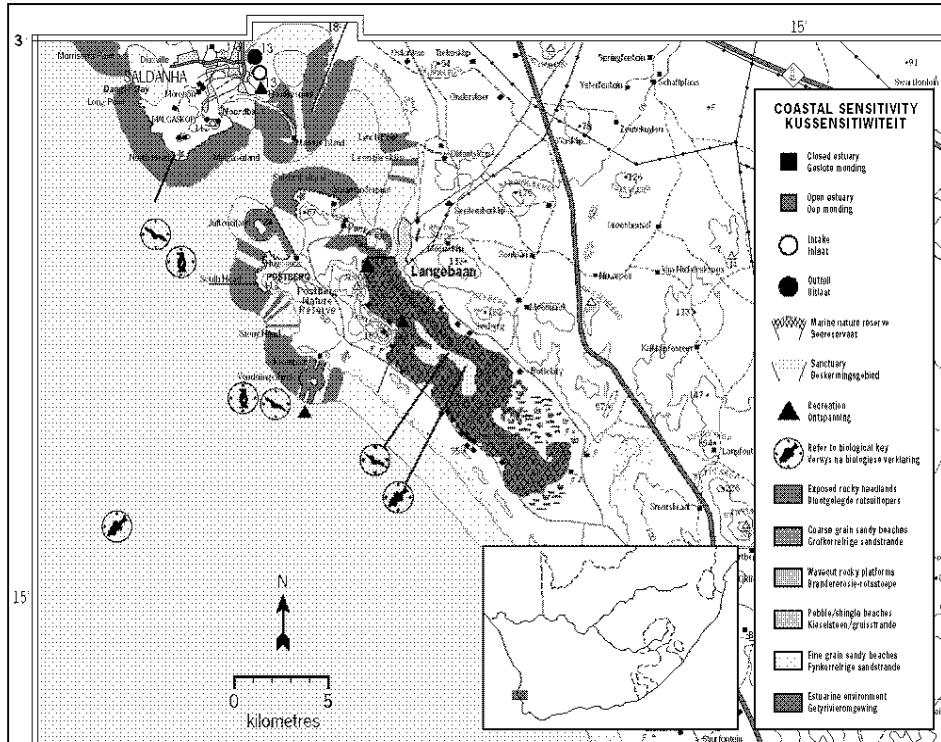
работе специалистов (обычно это рыбы, птицы и морские млекопитающие). Уязвимость на таких картах, как правило, отображается градациями цвета, отдельные виды – условными знаками, а сезонность обозначается специальной кодировкой (см. рисунки ниже). Ограничениями использования подобных карт Лицами, принимающими решение (ЛПР), служат их большое число и необходимость ранжирования многих групп организмов (или видов) по приоритетности.



Условные обозначения, используемые для отображения разнообразия береговых ресурсов (Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы, США)



Характеристика сезонной уязвимости на картах «Прибрежные районы Великобритании, уязвимые к нефтяному загрязнению». На рисунке слева синий цвет обозначает сосредоточение птиц на воде, красный – на берегу. Четырехточечная система (справа) характеризует уязвимость по сезонам



Пример представления данных по чувствительности акватории к нефтяному загрязнению в Атласе уязвимых зон побережья Южной Африки

Используемая методика основана на следующих предпосылках:

Для полноты характеристики рассматриваемых экосистем и во избежание критических замечаний со стороны общественности, сторонних специалистов и экспертных организаций, объектами рассмотрения являются все основные группы растений и животных, обитающие в регионе

Относительная уязвимость различных компонентов экосистем к прогнозируемым воздействиям задается исходя из накопленных знаний (см. таблицу 1) и корректируется специалистами с учетом местной специфики

Изменения уязвимости отдельных групп организмов на протяжении года характеризуются путем построения сезонных карт распределения

Для построения тематических и обобщающих карт используются географические информационные системы (ГИС; в нашей работе - пакет программ MapInfo 6.0)

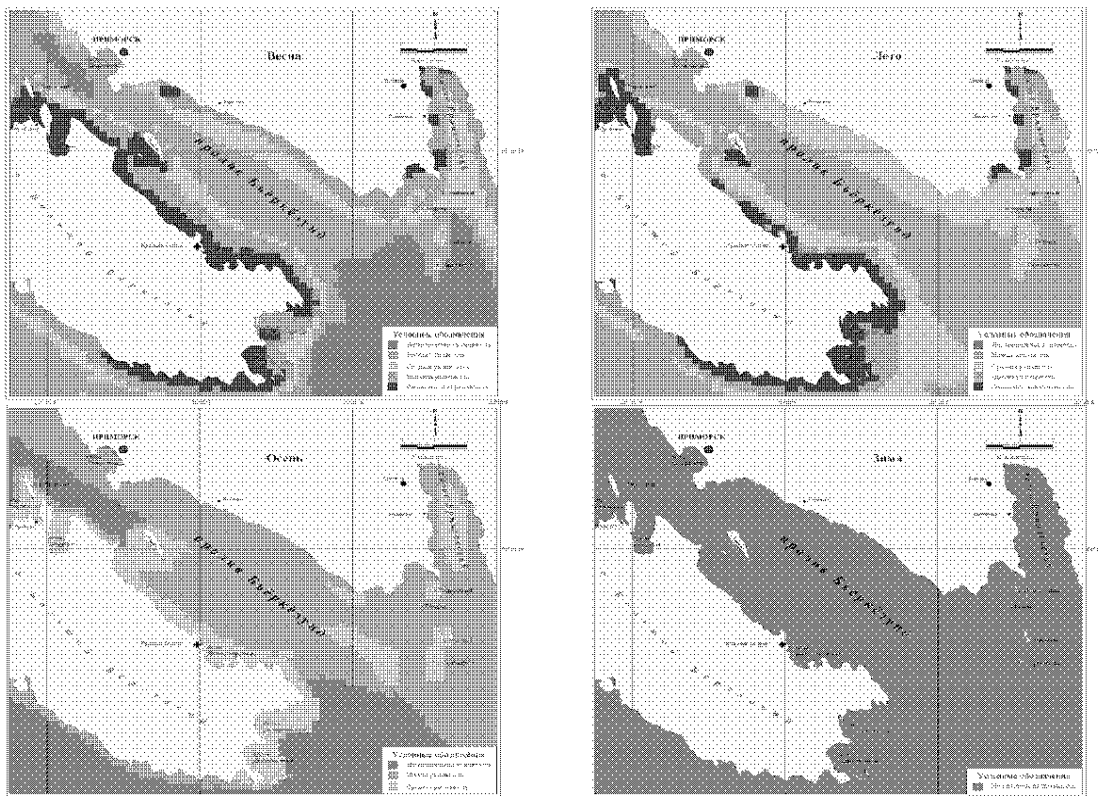
Интегральная уязвимость региона определяется как результат суммирования уязвимости территории или акватории по отдельным группам

растений и животных, с учетом их индивидуальной чувствительности к воздействиям, способности к восстановлению, пространственного и сезонного распределения

Относительная уязвимость различных компонентов экосистем к основным видам воздействий, связанным с освоением шельфовых месторождений

Компонент экосистемы	Коэффициент относительной уязвимости				
	Воздействие с пневмоисточников	Увеличение количества взвеси в воде	Дампинг грунта	Нефтяная пленка	Диспергированная нефть
Фитопланктон	1	3	1	1	1
Зоопланктон	2	4	1	2	2
Макроводоросли	1	5	5	4	5
Сосудистые растения	1	1	2	4	4
Донные беспозвоночные	1	3	5	2	4
Рыбы (икра, мальки)	5	5	4	4	5
Рыбы (взрослые особи)	4	4	3	3	3
Птицы	2	3	2	5	4
Китообразные	3	1	1	4	3
Ластоногие	3	2	1	5	4

Итоги работы представляют собой серию из нескольких (чаще всего – четырех) картосхем на которых интегральная уязвимость региона



охарактеризована пятью градациями в цветовой гамме от красного – «очень высокая уязвимость», через желтый цвет – «средняя уязвимость», до зеленого – «незначительная уязвимость». Такого рода картосхемы (см. рисунок ниже) построены строго формализованным образом, высоко наглядны, одновременно характеризуют уязвимость в пространстве и времени и не требуют специальных знаний для своей интерпретации от ЛПР.

Уязвимость пролива Бьеркезунд (Финский залив) к нефтяным разливам по интегральным биологическим показателям в разные сезоны.

4.2. Структура геоинформационной программы поддержки принятия решений.

Перечисленные свойства особенно важны на завершающем этапе при использовании результатов работы системы в целях оперативного устранения загрязнения. Для демонстрации результатов работы программа осуществляет прогноз перемещения нефтяного пятна. Прогноз строится на исходных данных поступающих в программу на действительный момент времени. Прогнозирование распространения загрязнения осуществляется на заданной территории, карта которой разделена на области, отличающиеся степенью уязвимости перед загрязнением, что позволяет проводить работы по оценке уязвимости акваторий и берегов к нефтяному загрязнению, своевременно реагировать на аварийные ситуации и производить планирование чрезвычайных ситуаций. ГИС «Прогноз нефтяного разлива» осуществляет визуализацию фактических и прогнозных данных разлива нефтяного пятна с учетом гидрометеорологических условий.

Программа состоит из следующих модулей: **oil_viewer**, **MapWidget**. Модуль **oil_viewer** осуществляет по введенным гидрометеорологическим параметрам (направление и скорость ветра, соленость и т.д.) расчет переноса и трансформации нефтяного пятна. Модуль производит отображение результатов расчета на географическую основу. Построенные карты могут быть выведены на экран, печать или в растровый файл. Исходные данные о разливе нефти и

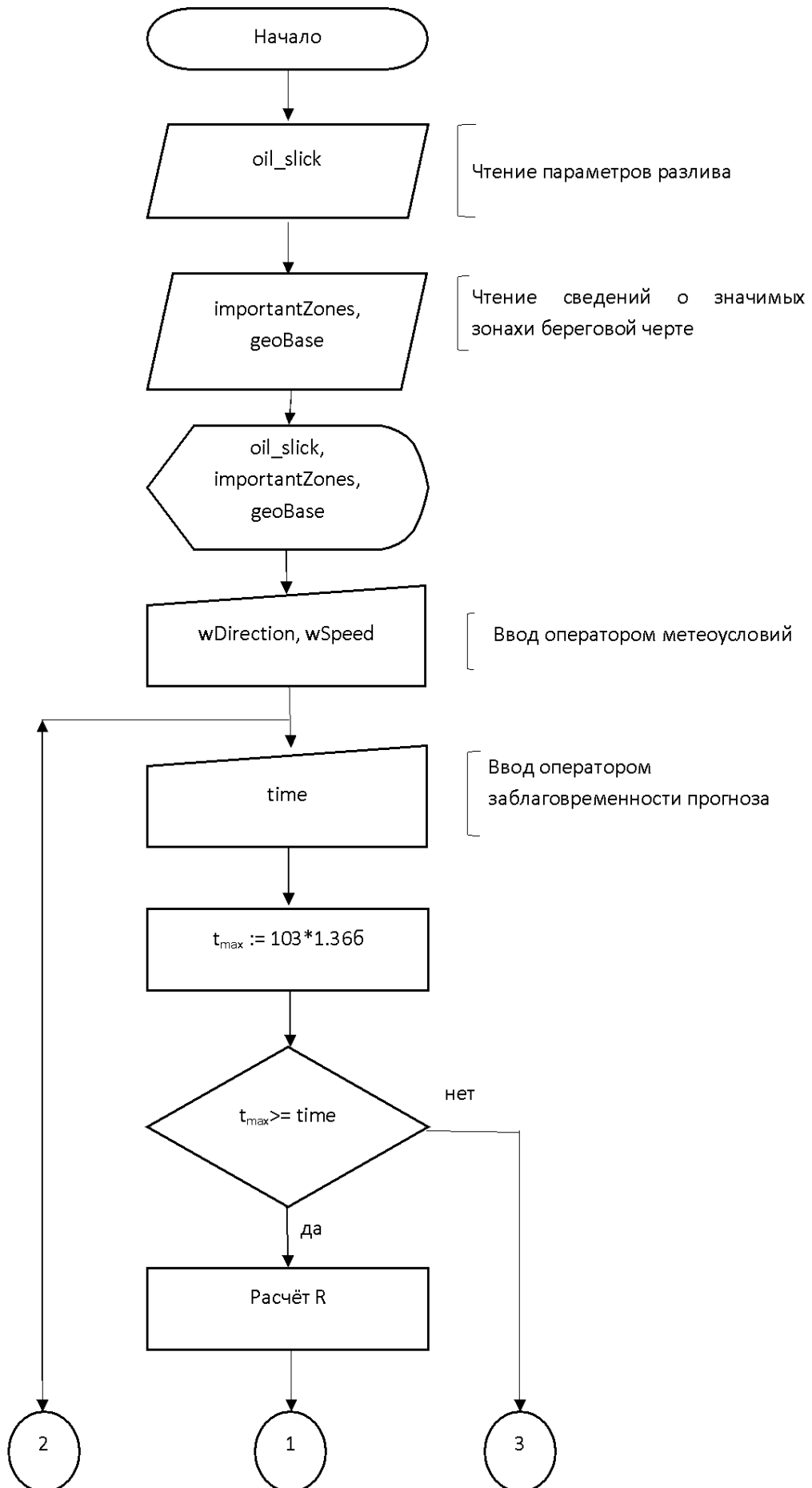
текущих гидрометеорологических условиях поступают в открытом виде (без использования синоптических, гидрологических и др. кодов) в формате конфигурационных файлов типа INI. Использование подобного формата позволяет упростить интеграцию ГИС со связными компонентами в оперативной практике.

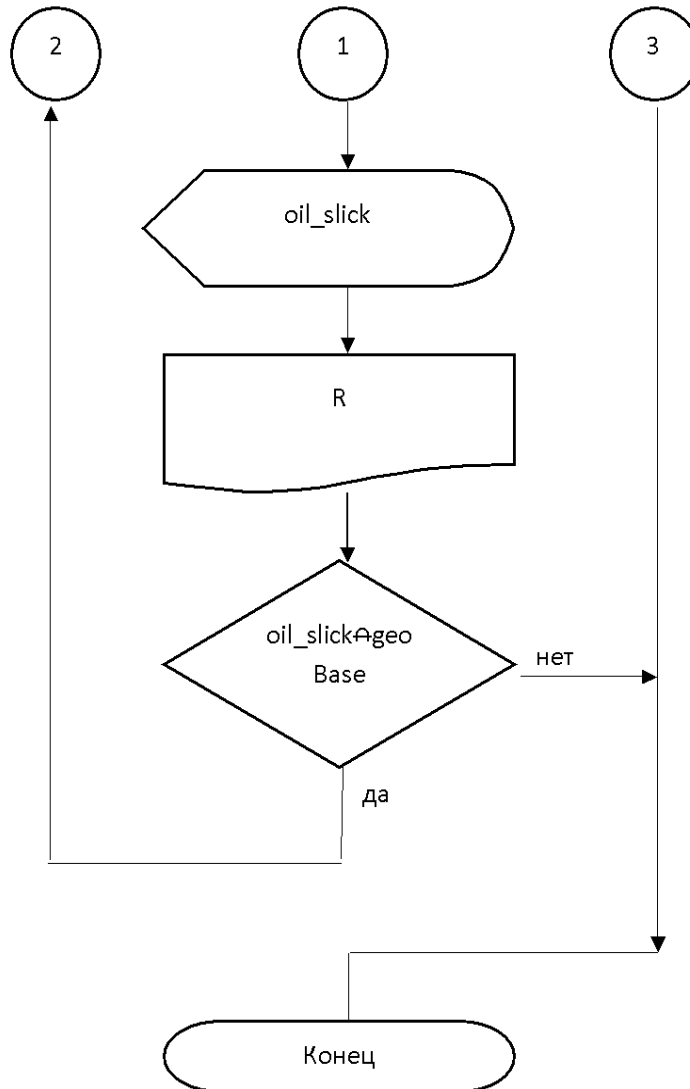
Программа состоит из следующих модулей: `oil_viewer`, `MarbleWidget`.

Модуль **MapWidget** производит отображение одного из заданных типов географической основы. Так же модуль отвечает за вывод слоев дополнительной информации на карту (базы уязвимых и охраняемых территорий акватории, зон ответственности, предупреждающей и диагностической информации и т.д.). Все географические данные хранятся в собственном текстовом формате, который при относительной избыточности даёт возможность масштабировать данную ГИС с использованием штатных средств ОС.

Модуль `oil_viewer` осуществляет по введенным гидрометеорологическим параметрам (направление и скорость ветра, соленость и т.д) расчет переноса и трансформации нефтяного пятна. Модуль производит отображение результатов расчета на географическую основу. Построенные карты могут быть выведены на экран, печать или в растровый файл.

Блок схема программы представлена на Рисунок 4.1

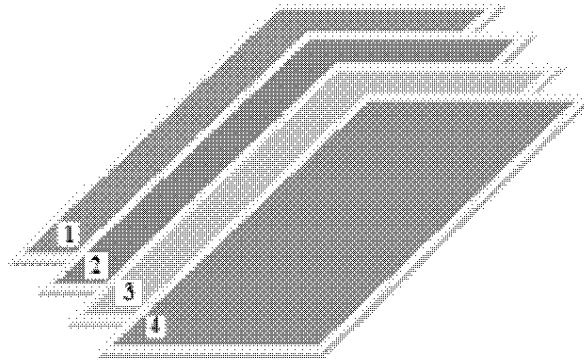




4.1 Блок-схема центрального алгоритма

Выстраиваемая геоинформационная система будет иметь вид карты с наложенными на нее слоями:

- Климатическая ситуация местности. (1)
- Биологическая карта (в режиме реального времени).(2)
- Карта особо охраняемых зон.(3)
- Загрязнение и прогноз распространения.(4)



В итоге получается карта с прогнозом поведения загрязнения и зон наиболее чувствительных к загрязнению. Данная карта является основной информацией для лица принимающего решение о необходимых мерах для устранения разлива.

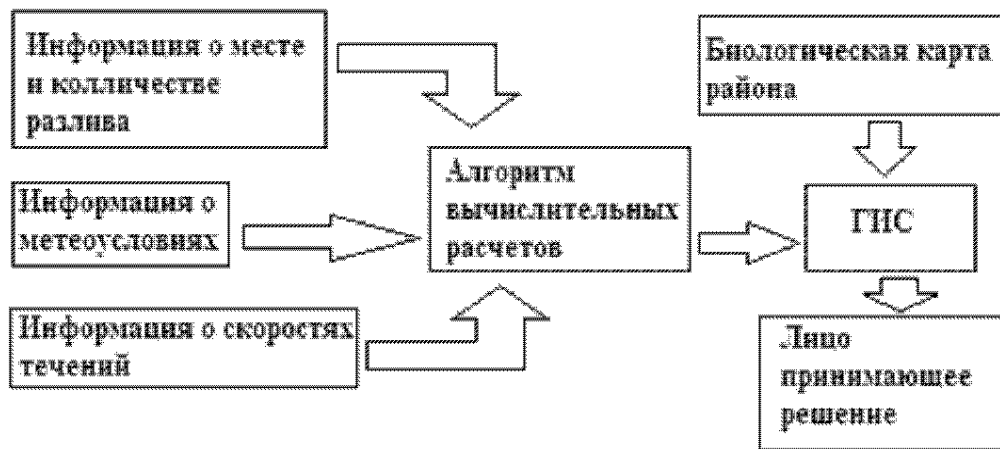


Рисунок 4.1 Схема алгоритма ГИС.

К лицу принимающему решение поступать информация о прогнозе распространения загрязнения по акватории и места наиболее уязвимые к загрязнению. Таким образом наиболее важная и актуальная информация способствует принятию эффективного решения по устранению загрязнения.

4.3. Исходные данные и требования предъявляемые к геоинформационной системе поддержки принятия решения.

Описание процессов получения, передачи и обработки информации осуществим на основе прикладного логико-математического языка теории множеств, являющегося универсальным математическим языком, обладающим большой выразительной способностью.

Получение первичной информации происходит в автономных средствах наблюдения (АСН) и заключается в обработке сигналов, обеспечивающей обнаружение – распознавание ситуаций экологической или иной обстановки, формирование и передачу по радиоканалу кодограмм (сообщений) с результатом первичной обработки информации.[50]

Вторичная обработка сообщений от АСН производится в информационно-аналитических центрах (ИАЦ) на алгоритмическом языке с помощью комплекса вычислительных средств и человека-оператора, принимающего логические решения, и включает в себя:

- обработку принятых кодограмм от АСН в соответствии с определенным приоритетом их важности;
- формирование выходных сообщений по результатам алгоритмической обработки и принятых оператором решений;
- обработку служебных команд и запросов операторов.

По полному или этапному завершению обработки информации по каждой типовой задаче, решаемой совокупностью АСН, на том или ином уровне процесса обработки оператором принимается решение о готовности ее к докладу.

К известным оператору ИАЦ условиям принятия решения, которые он изменить не может, относятся структурно-технические характеристики потенциальных возможностей СОО и технические требования к точности оценивания ситуации, а также:[51]

- структура СОО, формализовано описываемая в виде графа $L = (X, U, P)$, который задан множеством вершин (узлов связи – ретрансляторов, УПОИ) $X =$

$\{x_i / i \in I\}$, множеством ребер (направлений связи) $U = \{u_j / j \in J\}$ и инцидентором – трехместным предикатом $P(x_i, u_j, x'_j)$, обозначающим высказывание «ребро u_j соединяет вершину x_i с вершиной x'_j »;

- упорядоченное множество индексов направлений связи $n \in N$, т.е. задано однозначное отображение $f: N \rightarrow A$ множества N на множество $A = \{x_i, u_j, x'_j / P(x_i, u_j, x'_j)\}$, т.е. на множество упорядоченных x_i, u_j, x'_j , на которых истинно высказывание $P(x_i, u_j, x'_j)$;

- множество «имен» (системных адресов) корреспондентов системы ... СОО (например, ИАЦ 1, ИАЦ 2, ...) $K = \{k_q / q \in Q\}$;

- непересекающиеся подмножества именно корреспондентов узлов связи $\{B_i\}$, входящих в $\{K\}$ таких, что $\bigcup_{i=1}^I B_i = K$ и каждому $\{B_i\}$ поставлен в соответствии индекс соответствующего узла связи $i \in I$, т.е. задано взаимно однозначное отображение $\phi: I \rightarrow \{B_i\}$;

- семейство непересекающихся подмножеств индексов каналов связи одного направления связи $Z_j \in C$ таких, что $\bigcup_{j=1}^J Z_j = C$ и каждому Z_j поставлен в соответствие индекс $j \in J$, т.е. задано взаимно однозначное отображение $\gamma: J \rightarrow \{Z_j\} = C$;

- семейство множеств параметров каналов передачи $\{\Pi_c\}$ с индексами из множества порядковых номеров каналов в структуре системы связи $C_i \in C = \{1, 2, \dots, m\}$, где $\Pi_c = \{d, t, l_{max}, l, t_b\}$ - множество параметров каждого канала, элементами которого являются: d - достоверность связи; t - среднее время передачи сообщения; l_{max} - максимальная дальность связи; l - вид связи (цифровой радиоканал, телефонная и т.д.); t_b - среднее время восстановления канала после отказа;

- упорядоченное по приоритетам обслуживания множество индексов категорий сообщений (кодограмм) $\{S_\gamma\}$, $S_\gamma \in S = \{1, 2, \dots, \gamma\}$, присваиваемым им абонентом при подаче заявки на связь в зависимости от важности и срочности информации;

- семейство множеств требований к качеству процесса передачи и обработки сообщения с индексами из множества $S = \{U_S\}$, $U_S = \{\alpha_{np}, t_{дон}\}$, где α_{np} – достоверность принятого сообщения; $t_{дон}$ – допустимое время передачи и обработки сообщения.

Кроме того заданы:

- структура подсистемы вторичной обработки информации на ИАЦ, формализовано описываемая в виде графа $S = (A, H, D)$, который задан упорядоченным (согласно принципам организации процесса вторичной обработки информации) множеством вершин (алгоритмов) $A = \{a_v / v \in V\}$; множеством ребер (направлений обработки информации) $H = \{h_e / e \in E\}$, и инцидентором – трехместным предикатом $D(a_v, h_e, a'_v)$, обозначающим высказывание: «ребро h_e соединяет вершину a_v с вершиной a'_v »;

- упорядоченное множество индексов направлений обработки $y \in Y$ и задано однозначное отображение $R: Y \rightarrow G$ множества Y на множество $G = \{a_v, h_e, a'_v / D(a_v, h_e, a'_v)\}$ упорядоченных троек a_v, h_e, a'_v , на которых истинно высказывание $D(a_v, h_e, a'_v)$;

- множество корреспондентов (источников информации) образуют стохастический поток сообщения суммарной интенсивности $\lambda = \sum_{i=1}^I \lambda_i$ (как результат работы совокупности алгоритмов первичной обработки сигналов от движущихся целей, приема-передачи кодограмм системой ретрансляторов).[52]

Служебные алгоритмы $\{a_{i0}^{сл}\}$ обеспечивают прием, декодирование кодограмм, диспетчеризацию сообщений.

Реализация служебных алгоритмов (приема, декодирования кодограмм, диспетчеризации сообщений) $a_{i0}^{сл} \in A$ из их упорядоченного множества обеспечивает однозначное отображение $F: Z \rightarrow \{h_e\}$ такое, что выполнено разложение исходного потока вида $\lambda = \sum_{i=1}^I \lambda_i = \lambda_1^{сл} + \lambda_2^{кл} + \lambda_3^B$.

Реализация алгоритмов обработки первой ступени обеспечивает однозначное отображение $Z: W^* \rightarrow \{h_e^I\}$, что приводит к формированию расширенного упорядоченного множества целевой информации об объектах

распознавания (класс, тип, число и ..., параметры движения) $W_{np}^* = W^{np} + W^l + W^h$, где W^{np} – компонента правильно выделенной смысловой информации; W^l – компонента ложной смысловой информации; W^h – компонента потерянной (не распознанного сообщения) смысловой информации, причем $W_{np}^* \neq W_i$, где W_{np}^* – исходная ... информация.

Уменьшение мощности множеств W^l и W^h , возможно как за счет совершенствования традиционных алгоритмов прямых вычислений (например, алгоритма на нечетких множествах), так и привлечения новых с использованием идей и принципов искусственного интеллекта.

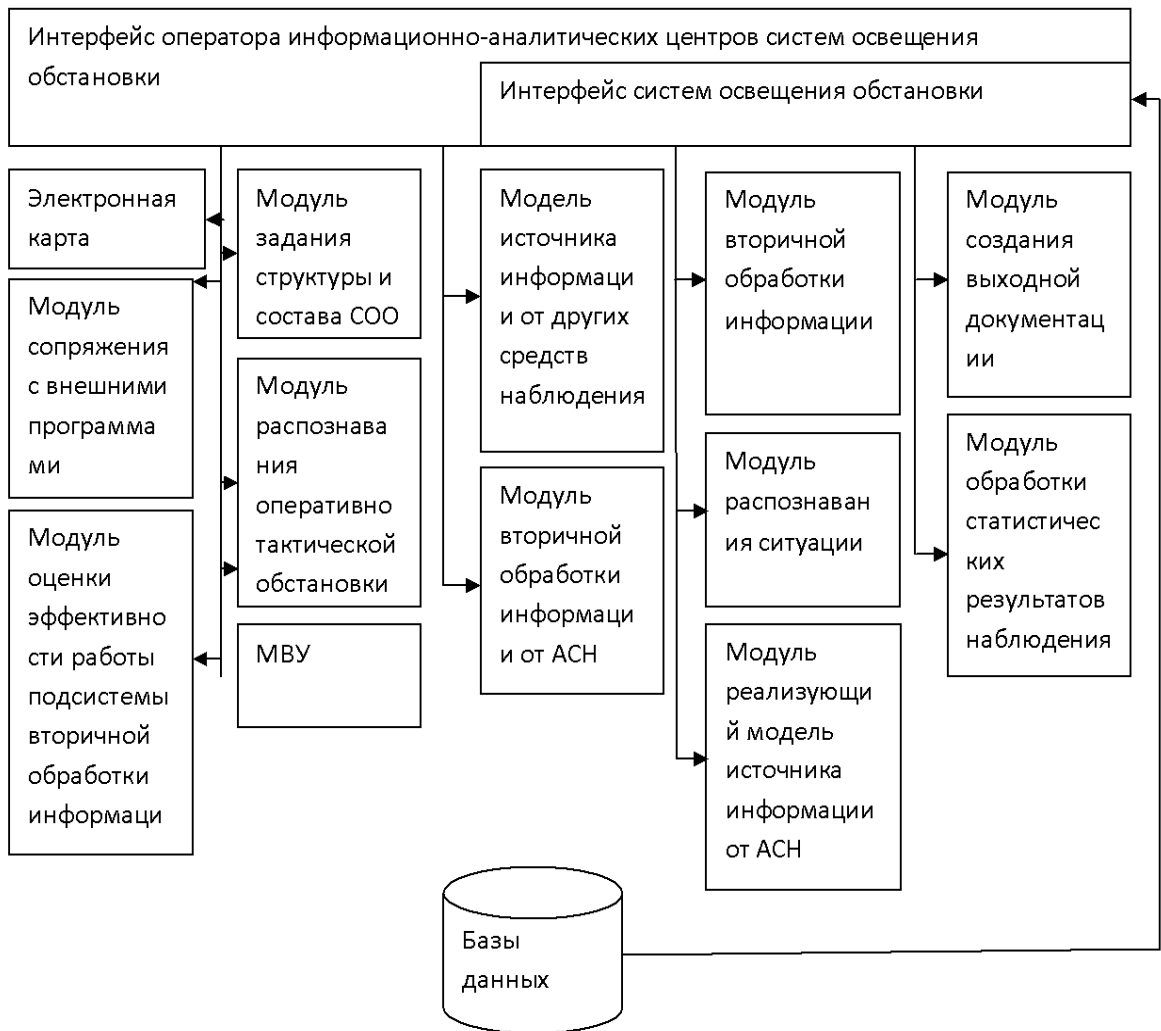
Использование косвенной информации и знаний экспертов в виде упорядоченного множества правил, например, в виде продукций $\{Pr_j\}$, позволяет реализовать на первой ступени логико-лингвистический фильтр, обеспечивающий однозначное отображение $W_{np}^* : W \rightarrow \{h^{l\&g}\}$ такое, что $W^l > W^{l\&g}$ и $W^h > W^{h\&g}$.

На каждой ступени обработки информации также формируется смысловая информация (W^{*1}, W^{*2}, W^{*3}), отображаемая на электронной карте (ЭК).

Обобщенная формальная схема получения, передачи и обработки информации в однослойной зоне ответственности СОО представлена на Рисунок 4.2.



Рисунок 4.2 – Обобщенная схема получения, передачи и обработки информации в зоне ответственности.



На Рисунок 4.3. Приведена структурная схема унифицированной системы освещения обстановки.

Модульная интеллектуальная система освещения обстановки, реализующая геоинформационные технологии, воплотила в себе результаты анализа тенденций развития существующих подходов к построению сложных систем вообще и информационных систем в частности. Это является гарантией методологической совершенности такой системы. Как любая перспективная система СОО построена на единой концептуальной основе, обеспечивает программную полиязычность, реализует интеллектуальный интерфейс с пользователем, позволяет производить настройку на область конкретного применения обычным способом и на основе

системы электронных карт, основывается на системах баз данных и знаний моделируемой системы, включает ряд базовых аппаратно-программных средств моделирования.

Концептуальной основой СОО является модель информационного поля принятия решений, которая позволяет создать единую базу данных и знаний, реализовать аналитико-имитационный подход к моделированию как технологического процесса в целом, так и его составляющих этапов. Единая концептуальная основа СОО позволяет на базе типовых математических схем и логик реализовать подход к формализации и алгоритмизации интересующих пользователя процессов в системе поддержки принятия решений (СППР).[53]

Интеллектуальный интерфейс с пользователем позволяет обеспечивать адаптируемость СОО при проведении конкретных исследований и разработок в интерактивном режиме. В основе такого интерфейса лежит среда системы виртуальных машин, позволяющая пользователям независимо друг от друга проводить на базе СОО собственные работы. Возможность настройки на область конкретного применения, заложенная в СОО, дает возможность пользователю работать только с той частью системы, которая его интересует в конкретном случае.

Ядро СОО предназначено для выполнения общих супервизорных функций по управлению и координации работы компонентов комплекса аналитико-имитационных моделей и методов, разработанных для решения прикладных задач исследования.[54]

Процессор взаимодействия с пользователем или диалоговый процессор СОО предназначен для непосредственного ведения диалога с пользователем в соответствии со сценарием, хранящимся в базе данных эксперимента и формируемым по информации, хранящейся в базе знаний системы. База знаний СОО включает: общую базу, т.е. базу общих знаний о процессах функционирования СОО, включающую сведения о языках и пакетах обработки информации, используемых в СОО, информацию о типовых математических

схемах, применяемых для конструирования моделей процесса функционирования системы; системную базу знаний, включающую информацию о СОО, спецификации системы, сценарий работы с системой, сведения о СОО как объекте моделирования, тексты моделей (протокольные области и модули), конкретные планы экспериментов с моделями процессов функционирования СОО. Система управления базами знаний обеспечивает загрузку, ведение и пополнение баз знаний, а также поиск и выдачу знаний по запросам пользователей СОО.

Система базовых средств обработки информации включает аппаратно-программные средства, взаимодействующие через специальные средства с системой управления базовыми средствами функционирования СОО. В функции системы управления входит инициирование и поддержание работы СОО.

Описание программы геоинформационной системы поддержки принятия решения.

Современные геоинформационные системы предоставляют цифровые инструменты для организации и оперирования пространственными данными, моделирования происходящих в пространстве процессов, визуализации этих данных, моделей и процессов с помощью развитых компьютерных средств, специализированных инструментов обработки и анализа геоданных. Современные ГИС расширяют мощь географических методов.

Географический подход подразумевает использование принципов географической науки с поддержкой ГИС как основы для прогнозирования аварийных ситуаций и применения географического знания для устранения опасных экологических ситуаций, позволяет лицу принимающему решение анализировать весь имеющийся опыт, при решении имеющихся проблем.

Ключевой метод географического подхода заключается в интегрировании многих факторов и их представлении на карте, в их комплексном рассмотрении и интерпретации за счет картографического наложения друг на друга отдельных слоев данных, которые группируются по тематическому признаку. Этот

классический метод стал популярен еще в 1980-х годах после выхода ряда фундаментальных работ по теоретической и прикладной географии.

Комплексная методика прогнозирования предполагает, что аварийный разлив нефтепродуктов определяется, как центр масс на определенной акватории. Иерархическая древовидная модель комплексной методики прогноза, объединяющая базовые методы оценки состояния акватории, позволяют сформировать приоритетную оценку ликвидации аварийного участка. Перспективным подходом к реализации комплексной методики является создание системы поддержки принятия решения. В рамках такого подхода акватория условно делится на территории с различной степенью уязвимости.

Информационное обеспечение комплексной методики включает следующие элементы:

- 1) Базы данных особо охраняемых зон акватории.
- 2) Базы данных уязвимых зон в различные сезоны календарного года.
- 3) Географические базы данных (включающие постоянные течения и т.д.)
- 4) Метеорологические оперативные данные.
- 5) Модели распространения загрязнения.

Существенным общим свойством перечисленных выше видов данных является их зависимость от пространственных координат, так как разлив нефтепродуктов рассматривается как центр масс по радиусу распространения. Поэтому, применение такого мощного и удобного средства интеграции пространственно-распределенных данных как ГИС является оправданным и перспективным. Программно-инструментальная система использует ГИС в качестве связующего звена, обеспечивающего использования разнородных данных.

Предусматривается использование системы поддержки принятия решения геоинформационной системы в качестве источника для предоставления результатов и реализации интерфейса с пользователем ЛПП. Интерфейс на основе электронной карты обеспечивает:

- 1) Графическое предоставление больших объемов данных.
- 2) Подачу информации в комфортном виде для ЛПР.
- 3) Оперативное отображение изменения обстановки
- 4) Совместное отображение связанных параметров

Выводы по главе:

1. Бальная оценка экологической уязвимости позволяет оценить не только воздействие на экологическую уязвимость, но и на отдельные виды и группы растений. Уязвимость различных компонентов экосистемы прогнозируется исходя из накопленных данных.
2. Структура геоинформационной системы модульная. Модули производят отображение результатов расчетов на геоинформационную основу.
3. Исходные данные поступают из автоматических средств наблюдения, которые привязаны к географической локации. Ключевой метод географического подхода заключается в интегрировании многих факторов и их представлении на карте

Заключение

В настоящей диссертационной работе представлено новое решение актуальной задачи построения интегрированной геоинформационной системы, предназначенной для поддержки принятия управленческих решений в нештатных ситуациях, возникающих при аварийных разливах нефтепродуктов на морской поверхности. Разработанная система представляет собой интеграцию радиофизического мониторинга экологического состояния морской поверхности, ГИС отображения информации и систему поддержки принятия решения.

На основании теоретических исследований поставленных задач, математического, алгоритмического и имитационного моделирования основных характеристик информационных потоков о состоянии морской поверхности получены следующие основные научные результаты:

- Разработаны методики оценки экологической обстановки прибрежных акваторий с учетом международных стандартов по определению степени загрязнения вод и экологии прибрежных зон.
- Разработана и реализована программа проведения натурных измерений и методов обработки результатов измерений вод Финского залива.
- Отработана методика дистанционного мониторинга обнаружения нефтепродуктов на морской поверхности в оптическом и электромагнитном диапазоне волн.
- Получены опытные данные для возможности дальнейшей сертификации метода обнаружения и идентификации загрязнений.
- Получен набор статистических данных для осуществления картографирования возможных нефтяных разливов в районе нефтеналивного порта г. Приморска. Полученные данные не противоречат

известным отечественным и зарубежным данным. Полученная точность составляет не более 30%.

- Определены критерии оценки адекватности моделей и проведена их проверка экспериментальным путем.
- Разработана структура типовой автоматизированной информационной системы оперативной оценки экологического и техногенного риска в местах интенсивных природных и техногенных воздействий на основе результатов дистанционного зондирования океана.
- Разработаны алгоритмы интеграции информации в автоматизированной информационной системе дистанционного мониторинга на различных уровнях представления сигналов.
- Определены функциональные возможности и технические характеристики радиолокационной системы, входящей в состав автоматизированной информационной системы.
- Разработаны механизмы и алгоритмы принятия управленческих решений при аварийных разливах нефтепродуктов.
- Разработана базовая структура ГИС поддержки принятия решения при нештатных ситуациях на морской поверхности.
- Разработана программа для реализации принятия управленческих решений при нештатных ситуациях на морской поверхности, на которую получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2014618853 от 29.08.2014 г.

Результаты диссертационной работы внедрены:

- В учебный процесс при подготовке студентов факультета информационных систем и геотехнологий.

- В НИР «Разработка и развитие методов, моделей и систем геоинформационного управления пространственно-распределенными объектами» выполняемую на основании задания №2014/166 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки РФ.

Список литературы

1. Ермаков С.А. Влияние поверхностных пленок на короткие ветровые волны / С.А. Ермаков, А.М.Зюйкова, А.Р.Панченко, С.К.Салашин, Т.Г.Талипова, В.И. Титов//. Динамика атмосферы в океане, т.10, 1986
2. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды.- М.: 1984.- 98 с
3. Гершензон В.Е. Информационные технологии в управлении качеством среды обитания. Учебное пособие / В.Е. Гершензон, Е.В.Смирнова, В.В.Элиас //Под ред. В.Е. Гершензона.-М.: Изд.центр «Академия».2003.
4. Применение средств локации для контроля параметров водной среды. Таганрог. радиотехн. Ин-т. Сост. К.Е. Румянцев и др. Таганрог, 1991.
5. W.Alpers, H.Nuhnerfuss. The damping of ocean waves by surface films: A new look at an old problem.-J.Geophys. Res.,vol.94, pp.6251-6265, 1989.
6. Чернецова Е.А. Дистанционный мониторинг нефтяных загрязнений в водной среде. Монография.-СПб.- изд. РГГМУ.-2008.
7. Иванов А.Ю. Нефтяные загрязнения моря на радиолокационных изображениях КА "Космос-1870" и "Алмаз-1" // Исследование Земли из космоса, 1997, № 6
8. Иванов А.Ю. Наблюдение нефтяных загрязнений моря радиолокаторами с синтезированной апертурой КА "Алмаз-1" и ERS-1. / А.Ю. Иванов, К.Ц.Литовченко, С.А.Ермаков// Электромагнитные волны и электронные системы.- 2001, т. 6, № 5
9. Donlean M., Pierson W. (1987) Radar scattering and equilibrium ranges in wind-generated waves with application to scatterometry, J.Geophys.Res., 92(C5).
- 10.Радиолокация поверхности Земли из Космоса/ под ред. Л.М. Митника и С.В. Викторова// Л., Гидрометеиздат.- 1990.
- 11.А.И. Алхименко «Аварийный разлив нефти в море и борьба с ними» С-Пб 2004.
- 12.Иванов А.Ю. Наблюдение нефтяных загрязнений моря радиолокаторами с синтезированной апертурой КА "Алмаз-1" и ERS-1. / А.Ю. Иванов, К.Ц.Литовченко, С.А.Ермаков// Электромагнитные волны и электронные системы.- 2001, т. 6.
- 13.Гульков В.Н. Оптико-физические средства исследования океана/ В.А.Зайцев, М.А. Кропоткин и др. Под ред. Пащенко Е.Г.- Л.: Судостроение.- 1984
- 14.Киселев А.З. Оптимизация обработки сигналов в РЛС обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности. «Радиотехника», 2002, №10.

15. Чернецова Е.А. Применение нейронных сетей при автоматизированной обработке монохромных изображений // Системы управления и информационные технологии.- 2007, № 2(28).
16. Косенко Г.Г. Критерии информативности при различении сигналов.-М.: Радио и связь, 1982.
17. Kriegman D. J. Stereo vision and navigation in buildings for mobile robots / D. J. Kriegman T. O. Binford T. E. Binford // IEEE Trans. Robot. Automat.- 1989, vol. 5, no. 6.
18. Valin P. Fusion of imaging and non-imaging sensor information for airborne surveillance/ P. Valin, A. Jouan, E. Bosse // Proc. Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications, volume 3719, pp. 126–138, Orlando, FL, USA, 1999.
19. Soille P. Advances in mathematical morphology applied to geoscience and remote sensing/ P. Soille and M. Pesaresi// IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 40, no. 9
20. Flachs G. M. Feature space mapping for sensor fusion/ G. M. Flachs, J. B. Jordan, C. L. Beer, D. R. Scott // Journal of Robotic Systems, vol. 7, no. 3, 1990.
21. Jouseau E. Neural networks and fuzzy data fusion – application to an on-line and real time vehicle detection system/ E. Jouseau, B. Dorizzi// Pattern Recognition Letters, vol. 20, no. 1, 1999.
22. Нейрокомпьютеры в системах обработки изображений. // Под ред. А.И. Галушкина.-М.: Радиотехника, 2003.
23. Lee S. Unsupervised Multistage Image Classification using hierarchical Clustering with a Bayesian Similarity Measure/ S. Lee, M. M. Crawford// IEEE Trans. Image Process., vol. 14, no. 3, March 2005.
24. Басс Ф.Г. Рассеяние радиоволн на статистически неровной поверхности/ Ф.Г. Басс, И.М. Фукс// М.: Наука.-1972
25. Коваль В.С. Алгоритм конкурентного слияния сенсорных данных в мультисенсорных системах / Датчики и системы № 7. 2002
26. Косенко Г.Г. Критерии информативности при различении сигналов.-М.: Радио и связь, 1982.
27. Чернецова Е.А. Использование информационного критерия Кульбака для оценки степени связности стохастических сигналов/ Е.А. Чернецова, А.Д. Шишкин// Труды VII международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики, экономики и права» 1-5 октября 2004 г. Сочи.

28. Биденко С.И. Геоинформационные модели и методы поддержки управления./ Биденко С.И., Самотонин Д.Н., Яшин А.И. – СПб.:ФВУ ПВО, 2003. – 224 с.
29. Борисов А.Н. Диалоговые системы принятия решений на базе мини-ЭВМ: информационное, математическое, программное обеспечение./ Борисов А.Н., Вилломс Э.Р., Сукур Л.Я. – Рига: Зинатне, 1986. – 120 с.
30. Бушуев С.Н., Попов А.А. Основы общей теории систем./ Бушуев С.Н., Попов А.А. – СПб.: ВАС, 1992. – часть 1 – 248 с., часть 2 – 332 с.
31. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения./ Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. – М.: Высш.шк., 2000. – 480 с.
32. Горский Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления./ Горский Ю.М. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1988. – 327 с.
33. Гурьянова Л.В. Опыт использования ГИС-технологии для решения географо-гидрологических задач./ Гурьянова Л.В., Тумишская С.Ф. // ГИС-Обозрение, 1995. – №3. – С. 32-33.
34. Дракин В.И. Общение конечных пользователей с системами обработки данных./ Дракин В.И., Попов Э.В., Преображенский А.Б. – М.: Радио и связь, 1988. – 286 с.
35. Зинченко В.П. Основы эргономики./ Зинченко В.П., Мунипов В.М. – М.: Издательство Московского университета, 1979. – 344 с.
36. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник. / Под общ. ред. А.И. Губинского и В.Г. Евграфова – М.: Машиностроение, 1993. – 521 с.
37. Калинин В.Н. Теория систем и оптимального управления./ Калинин В.Н., Резников Б.А., Варакин Е.И. – Л.: ВИИ им. А.Ф. Можайского, 1979. – 519 с.
38. Кошкарёв А.В. Геоинформатика. / Кошкарёв А.В., Тикунов// В.С. Под ред. Д.В. Лисицкого. – М.: Картгеоцентр-Геодиздат, 1993. – 125 с.
39. Крамер Г. Математические методы статистики./ Крамер Г. – М.: Мир, 1975. – 625 с.
40. Краснова А.И. Моделирование геоинформационных полей пространственно распределенных технических систем./ Краснова А.И., Раков И.В., Яшин А.И. // «Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»» № 1. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ, 2002. – С. 19-23.
41. Краснова А.И. Метод визуализации и распознавания условий принятия решений./ Краснова А.И., Раков И.В., Яшин А.И. // Материалы Международной конференции «Континуальные алгебраические логики, исчисления и нейроматематика в науке, технике и экономике» (КЛИН-2002), 14-16 мая 2002 года. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2002. – С.30-35.

42. Ларичев О.И. Проблемы взаимодействия человек-ЭВМ в системах поддержки принятия решений./ Ларичев О.И. // Процедуры оценивания многокритериальных объектов. – М.: ВНИИСИ, 1984. – С. 20-28.
43. Организация вычислительных и информационных процессов в информационно-расчетных системах: Методическое пособие. / Под ред. Л.И. Озеранского. – М.: Воениздат, 1992. – 152 с.
44. Петровский А.Б. Системы поддержки принятия решений./ Петровский А.Б., Стернин М.Ю., Моргоев В.К – М.: ВНИИСИ, 1987.- 50 с.
45. Советов Б.Я. Информационная технология. Учебник для вузов по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления»./ Советов Б.Я. – М.: Высшая школа, 1994. – 368 с.
46. Яшин А.И. Геоинформационные системы и технологии: Учебное пособие./ Яшин А.И. – СПб.: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002. – 67 с.
47. Биденко С.И. Геоинформационные модели и методы поддержки управления./ Биденко С.И., Самотонин Д.Н., Яшин А.И. – СПб.: ФВУ ПВО, 2003. – 224 с.
48. Биденко С.И. Геоинформационные технологии. Учебное пособие ./ Биденко С.И., Лямов Г.В., Яшин А.И.– Петродворец.: ВМИРЭ, 2004. – 272 с
49. Биденко С.И. Геоинформационные системы поддержки принятия решений. Учебное пособие./ Биденко С.И., Камарицин А.А., Яшин А.И. – СПб.: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005. – 64 с.
50. Бескид П.П., Миранков В.А. «Информационная система оценки экологического состояния морской поверхности»Межвузовский сборник научных трудов Информационных технологий и системы выпуск 1(10) с.40 С-Пб 2013.
51. Нилов М.А., Иванв В.П., Бескид П.П., Миранков В.А., Некоторые перспективы развития скрытных корабельных РЛС. Научно технический сборник «Корабельные и бортовые многофункциональные информационно-управляющие системы» вып.№19, ЛБ-21636. – СПб.: ОАО «Концерн «Гранит-Электрон», 2013. – С.
52. Бескид П.П. Миранков В.А. «Информационная система оценки экологического состояния морской поверхности» В мире научных открытий №4(52),Красноярск 2014 (ВАК)
53. Бескид П.П., Миранков В.А. «теоретическое обоснование архитектуры геоинформационных систем освещения обстановки» Ученые записки РГТМУ №36 Санкт-Петербург 2014 (ВАК)

54. Биденко С.И. Геоинформационные модели и методы поддержки управления./ Биденко С.И., Самотонин Д.Н., Яшин А.И. – СПб.: ФВУ ПВО, 2003.
55. Богданов П.Ю. Силин П.И. Миранков В.А. «Защита конфиденциальности в корпоративных ГИС» Межвузовский сборник научных трудов «Информационные технологии и системы управления, экономика, транспорт, право» Выпуск 3 (14) Санкт-Петербург с.21
56. Бескид П.П., Миранков В.А. «Методология разработки информационной системы экологического мониторинга морских акваторий» Межвузовский сборник научных трудов «Информационные технологии и системы управления, экономика, транспорт, право» Выпуск 2 (13) Санкт-Петербург с.3
57. Бескид П.П., Миранков В.А. «Информационная система оценки экологического состояния морской поверхности» Межвузовский сборник научных трудов Информационные технологии и системы выпуск 1(10) с.40 С-Пб 2013.
58. Миранков В.А., Чернецова Е.А. «Вероятностная модель покрытия зоны ответственности свободно дрейфующей подсистемы мониторинга зонами чувствительности датчиков» Межвузовский сборник научных трудов Информационные технологии и системы выпуск 1(10) с.15 С-Пб 2013.
59. Нилов М.А., Иванв В.П., Бескид П.П., Миранков В.А., «радиолокационная система с псевдонепрерывным зондированием для повышения скрытности и эффективности мониторинга морской поверхности. Научно-технический сборник «Корабельные и бортовые многофункциональные информационно-управляющие системы» вып.19 ЛБ-21636. – С-Пб.: ОАО «Концерн «Гранит-электрон»2013»

Приложение

```
#include "map.h"
#include "ui_map.h"
#include <QDebug>

map::map(QWidget *parent) :
    QMainWindow(parent),
    ui(new Ui::map)
{
    ui->setupUi(this);
    m_map = new QPixmap(1920, 1080);
    QLabel *RadiusLabel = new QLabel;
    QLabel *CoastLabel = new QLabel;
    QLabel *MaximumRadiusLabel = new QLabel;
    statusBar()->addWidget(RadiusLabel);
    statusBar()->addWidget(CoastLabel);
    statusBar()->addWidget(MaximumRadiusLabel);
    addToolBar(createToolBar());
    createMenus();
    connect(this, SIGNAL(setRadius(QString)), RadiusLabel, SLOT(setText(QString)));
    connect(this, SIGNAL(setWarningCoast(QString)), CoastLabel,
    SLOT(setText(QString)));
    connect(this, SIGNAL(setMaximumWarning(QString)), MaximumRadiusLabel,
    SLOT(setText(QString)));
    readGeoFile();
```

```
readOilFile();
drawGeoBase();
drawOilSlick();
this->installEventFilter(this);

}

map::~map()
{
    delete ui;
}

void map::resizeEvent(QResizeEvent *)
{
    ui->label->setGeometry(150,10, this->width()-150, this->height()-30);
    drawGeoBase();
    drawOilSlick();
}

bool map::eventFilter(QObject *, QEvent * event)
{
    if ((event->type() == QEvent::MouseButtonPress)){
        QMouseEvent *mouseEvent = static_cast<QMouseEvent *>(event);
        if (mouseEvent->button() == Qt::RightButton){
```



```

float Scale = m_map->size().width()/currentSize.width();
qDebug() << (mouseEvent->pos() - ui->label->pos() - QPoint(0,55))*Scale;
}
else return false;

}
else return false;
}

void map::drawGeoBase()
{
    QPainter painter(m_map);
    painter.drawRect(m_map->rect());
    painter.fillRect(m_map->rect(), QColor(153,204,255));
    painter.setPen(QPen(QColor(255,204,102), 5));
    painter.setBrush(QBrush(QColor(255,204,153)));
    foreach(QPolygon pg, m_land)
        painter.drawPolygon(pg);
    painter.setPen(QPen(QColor(153,204,255),3));
    foreach(PolyLine pl, m_rivers)
        painter.drawPolyline(pl);
    painter.setPen(QColor(102,254,153));
    painter.setBrush(QBrush(QColor(0, 153,102),Qt::HorPattern));
    foreach(PolyLine pg, m_importantZones)
        if((pg.beginPeriod() <= os.dt)

```

```

    && (pg.endPeriod() >= os.dt))
painter.drawPolygon(pg);

```

```

QPixmap px = m_map->scaled(ui->label->size(), Qt::KeepAspectRatio);
currentSize = px.size();
ui->label->setPixmap(px);
}

```

```

void map::readGeoFile()
{
    QString dirPath = "data";

    QDirIterator iterator (dirPath, QStringList () << "*.ldt" << "*.rdt" << "*.idt",
QDir::Files | QDir::NoSymLinks, QDirIterator::Subdirectories);

    while(iterator.hasNext())
    {

        iterator.next();

        if (iterator.fileInfo().suffix() == "ldt"){

            FILE * f = fopen(iterator.fileInfo().absoluteFilePath().toString().c_str(),
"rt");

            if (f != NULL){

                int nPoints, x, y;

                QPolygon p;

```

```

        fscanf(f, "%d", &nPoints);
        for (int i = 0; i < nPoints; i++){
            fscanf(f, "%d %d", &x, &y);
            p.append(QPoint(x,y));
        }
        m_land.append(p);
        fclose(f);
    }
}

else if (iterator.fileInfo().suffix() == "rdt"){
    FILE * f = fopen(iterator.fileInfo().absoluteFilePath().toStdString().c_str(),
"rt");
    if (f != NULL){
        int nPoints, x, y;
        PolyLine p;

        fscanf(f, "%d", &nPoints);
        for (int i = 0; i < nPoints; i++){
            fscanf(f, "%d %d", &x, &y);
            p.append(QPoint(x,y));
        }
        m_rivers.append(p);
        fclose(f);
    }
}
}

```

```

else if (iterator.fileInfo().suffix() == "idt"){
    FILE * f = fopen(iterator.fileInfo().absoluteFilePath().toString().c_str(),
"rt");

    if (f != NULL){

        int nPoints, x, y;
        PolyLine p;
        char str[64];
        fscanf(f, "%s", str);
        p.setBeginPeriod(QDateTime::fromString(str, "dd.MM.yyyy"));
        fscanf(f, "%s", str);
        p.setEndPeriod(QDateTime::fromString(str, "dd.MM.yyyy"));
        fscanf(f, "%d", &nPoints);
        for (int i = 0; i < nPoints; i++){
            fscanf(f, "%d %d", &x, &y);
            p.append(QPoint(x,y));
        }
        m_importantZones.append(p);
        fclose(f);
    }
}
}
}

```

```
}
```

```
void map::readOilFile()
```

```
{
```

```
    QSettings ini ("data/oil.ini",QSettings::IniFormat);
```

```
    ini.setIniCodec(QTextCodec::codecForName("CP 1251"));
```

```
    os.name = ini.value("name").toString();
```

```
    os.Lon = ini.value("lon",25.907338).toFloat();
```

```
    os.Lat = ini.value("lat",60.189212).toFloat();
```

```
    os.sigma = ini.value("sigma", 36.42).toFloat();
```

```
    os.width = 10;
```

```
    os.height = 10;
```

```
    os.Angle = 0;
```

```
    os.maxTime = 103 - 1.36*os.sigma;
```

```
    os.dt = QDateTime::fromString(ini.value("dateTime").toString(), "dd.MM.yyyy  
hh:mm");
```

```
    isIntersectCoast = false;
```

```
    isMaximum = false;
```

```
    m_time = 0;
```

```
    m_os = os;
```

```
}
```

```
void map::drawOilSlick()
```

```
{
```

```

QPainter painter(m_map);

emit setRadius(QString::fromLocal8Bit("Радиус пятна:
%1м").arg((os.width/2)*100));

if(isIntersectCoast)

emit setWarningCoast(QString::fromLocal8Bit("<span style=\" color:#ff0000;\">"
        "Пятно достигло побережья за %1 мин
</span>").arg(int(m_time/60)));

if(isMaximum)

emit setMaximumWarning(QString::fromLocal8Bit("<span style=\"
color:#ff9933;\">"
        "Пятно достигло макс. радиуса за %1 мин
</span>").arg(int(m_time/60)));

else emit setMaximumWarning(QString());

QRectF ellipseRect(os.Lat - os.width/2, os.Lon- os.height/2,
        os.width, os.height);

painter.setBrush(QBrush(QColor(255,255,255,100)));
painter.setPen(Qt::NoPen);
painter.drawEllipse(QPoint(os.Lat, os.Lon), 5, 5);
painter.setBrush(QBrush(QColor(0,0,0,180), Qt::Dense1Pattern));
painter.save();

```

```
painter.translate(QPoint(os.Lat, os.Lon));
painter.rotate(os.Angle);
QDebug() << os.width;
if (os.height > os.width){
    painter.drawEllipse(QPoint(0,0),os.width, os.width/5);
    QPolygonF pf = QPolygonF() << QPointF(- os.width, 0)
        << QPointF(0, os.height/2)
        << QPointF(os.width, 0);
    painter.drawPolygon(pf);
}
else painter.drawEllipse(QPoint(0,0),os.width, os.width);
painter.restore();

painter.setPen(Qt::gray);
QPoint p1 = QPoint(ellipseRect.x()+25, ellipseRect.y()-20);

painter.setPen(Qt::black);
// painter.drawLine(ellipseRect.topRight(), p1);
// p1.setY(p1.y()-50);
painter.setFont(QFont("Ms sans serif", 30));

painter.setBrush(QBrush(QColor(255,255,255,100)));
painter.fillRect(QRect(p1.x(), p1.y(), 300, 50), QColor(255,255,255, 100));
painter.drawLine(p1.x(),p1.y(), p1.x()+300, p1.y());
painter.drawLine(p1.x(), p1.y()+50, p1.x()+300, p1.y()+50);
```

```
painter.drawText(QRect(p1.x(), p1.y(), 300, 50), os.name);
```

```
QPixmap px = m_map->scaled(ui->label->size(), Qt::KeepAspectRatio);
```

```
currentSize = px.size();
```

```
ui->label->setPixmap(px);
```

```
}
```

```
void map::updateMap(float time, float wSpeed, float wDirection)
```

```
{
```

```
    QPolygon ellipseRect = getEllipseRect();
```

```
    evalSlickParams(time, wSpeed, wDirection);
```

```
    bool ok;
```

```
    do{
```

```
        ellipseRect = getEllipseRect();
```

```
        ok = false;
```

```
        bool exit = false;
```

```
        for(int j = 0; (j < m_land.count())&&!exit ; j++){
```

```
            for(int i = 0; i < m_land.at(j).count(); i++){
```

```
                ok |= ellipseRect.containsPoint(m_land.at(j).at(i), Qt::OddEvenFill);
```

```
                if(ok) {
```

```
                    m_time -= 5;
```



```

        evalSlickParams(m_time, wSpeed, wDirection );
        exit = true;
        isIntersectCoast = true;
        break;
    }
}
}

}
while (ok);

drawGeoBase();
drawOilSlick();
}

QToolBar *map::createToolBar()
{
    QToolBar * t = new QToolBar;

    t->addAction(QIcon(":/img/oil.png"), QString::fromLocal8Bit("Открыть
данные"),this, SLOT(open()));

    t->addAction(QIcon(":/img/save.png"), QString::fromLocal8Bit("Сохранить в
растровый файл"),this, SLOT(save()));

    t->addAction(QIcon(":/img/switch5.png"),QString::fromLocal8Bit("Следующие 5
минут"),this, SLOT(plus5Min()));

    t->addAction(QIcon(":/img/switch10.png"),QString::fromLocal8Bit("Следующие 10
минут"),this, SLOT(plus10Min()));
}

```

```

    t->addAction(QIcon(":/img/switch20.png"),QString::fromLocal8Bit("Следующие 20
минут"),this, SLOT(plus20Min()));

    t->setMovable(false);

    t->setFixedHeight(35);

    return t;
}

```

```

void map::createMenus()

```

```

{
    QMenu * fileMenu = menuBar()->addMenu(QString::fromLocal8Bit("Файл"));

    fileMenu->addAction(QIcon(":/img/oil.png"), QString::fromLocal8Bit("Открыть
данные"),this, SLOT(open()));

    fileMenu->addAction(QIcon(":/img/save.png"), QString::fromLocal8Bit("Сохранить
в растровый файл"),this, SLOT(save()));

    fileMenu->addSeparator();

    fileMenu->addAction(QString::fromLocal8Bit("Выход"),this, SLOT(close()));

    QMenu * timeMenu = menuBar()->addMenu(QString::fromLocal8Bit("Сдвиг по
времени"));

    timeMenu-
>addAction(QIcon(":/img/switch5.png"),QString::fromLocal8Bit("Следующие 5
минут"),this, SLOT(plus5Min()));

    timeMenu-
>addAction(QIcon(":/img/switch10.png"),QString::fromLocal8Bit("Следующие 10
минут"),this, SLOT(plus10Min()));

    timeMenu-
>addAction(QIcon(":/img/switch20.png"),QString::fromLocal8Bit("Следующие 20
минут"),this, SLOT(plus20Min()));

    menuBar()->addAction(QString::fromLocal8Bit("О программе"), this,
SLOT(about()));
}

```

```
}
```

```
void map::on_pushButton_clicked()
```

```
{
```

```
    float wSpeed = ui->speedEdit->text().toFloat();
```

```
    float wDirection = ui->directionEdit->text().toFloat();
```

```
    float fDirection = 0;
```

```
    float time = ui->timeEdit->text().toFloat() * 60;
```

```
    m_time += time;
```

```
    updateMap(m_time, wSpeed, wDirection);
```

```
}
```

```
void map::evalSlickParams(float time, float wSpeed, float wDirection)
```

```
{
```

```
    if(time > os.maxTime*60){
```

```
        time = os.maxTime*60;
```

```
        m_time = os.maxTime*60;
```

```
        isMaximum = true;
```

```
    }
```

```

else isMaximum = false;

float Dens = 998.2; // Density of water
int k = 100; // Map coefficient
float vb = 0.000001004; // kinematic
float r = (2.3 * pow(os.sigma, 0.5))/pow(Dens*Dens*vb, 0.25) * pow(time, 0.75) /k;
os.width = 2*r;
os.height = 2*r;
if ((wSpeed > 0) && (wDirection > 0)*|(fDirection > 0)*|){
//    if((fDirection>0)&&(fSpeed > 0))
//        else
//        if((wDirection > 0)&&(wSpeed > 0)){
            float s = wSpeed*time;

            float Angle = wDirection;
            os.Angle = 270 - Angle + 90;
            float r1 = s*cos(Angle*M_PI/180) / k;
            float r2 = s*sin(Angle*M_PI/180) / k;

            os.Lon = m_os.Lon + r1;
            os.Lat = m_os.Lat + r2;

            os.height = s/k + os.height/2;

```

```
//      }
```

```
}
```

```
}
```

```
QLineF map::minorAxis()
```

```
{
```

```
float x = (- os.width/2)*cos(os.Angle*M_PI/180) + os.Lat;
```

```
float y = (- os.width/2)*sin(os.Angle*M_PI/180) + os.Lon;
```

```
QPointF p1 = QPointF (x,y);
```

```
x = ( os.width/2)*cos(os.Angle*M_PI/180) + os.Lat;
```

```
y = ( os.width/2)*sin(os.Angle*M_PI/180) + os.Lon;
```

```
QPointF p2 = QPointF(x,y);
```

```
return QLineF (p1,p2);
```

```
}

```

```
QLineF map::majorAxis()

```

```
{

```

```
float x = - (- os.height/2)*sin(os.Angle*M_PI/180) + os.Lat;

```

```
float y = (- os.height/2)*cos(os.Angle*M_PI/180) + os.Lon;

```

```
QPointF p1 (x,y);

```

```
x = - (os.height/2)*sin(os.Angle*M_PI/180) + os.Lat;

```

```
y = (os.height/2)*cos(os.Angle*M_PI/180) + os.Lon;

```

```
QPointF p2(x,y);

```

```
return QLineF (p1,p2);

```

```
}

```

```
QPolygon map::getEllipseRect()

```

```
{

```

```
QRectF ellipseRect(os.Lat - os.width/2 , os.Lon- os.height/2 ,
os.width, os.height);

```

```
QTransform trf;

```

```
ellipseRect.translate(-os.Lat, -os.Lon);

```

```
trf.translate (os.Lat, os.Lon);

```

```
trf.rotate(os.Angle);

```

```
return trf.mapToPolygon(ellipseRect.toRect());

```

```
}
```

```
void map::on_pushButton_2_clicked()
```

```
{
```

```
    os = m_os;
```

```
    m_time = 0;
```

```
    isIntersectCoast = false;
```

```
    isMaximum = false;
```

```
    drawGeoBase();
```

```
    drawOilSlick();
```

```
    emit setWarningCoast(QString());
```

```
}
```

```
void map::plus5Min()
```

```
{
```

```
    float wDirection = ui->directionEdit->text().toFloat();
```

```
    float wSpeed = ui->speedEdit->text().toFloat();
```

```
    m_time += 300;
```

```
    updateMap(m_time, wSpeed, wDirection);
```

```
}
```

```
void map::plus10Min()
```

```
{
```

```
    float wDirection = ui->directionEdit->text().toFloat();
```

```
    float wSpeed = ui->speedEdit->text().toFloat();
```

```
m_time += 600;
updateMap(m_time, wSpeed, wDirection);
}

void map::plus20Min()
{
    float wDirection = ui->directionEdit->text().toFloat();
    float wSpeed = ui->speedEdit->text().toFloat();
    m_time += 1200;
    updateMap(m_time, wSpeed, wDirection);
}

void map::about()
{
    QMessageBox::about(this, QString::fromLocal8Bit("О программе"),
        QString::fromLocal8Bit("PITMY 2014"));
}

void map::open()
{
    return;
}

void map::save()
{
```



```
    QString fName = QFileDialog::getSaveFileName(this,  
    QString::fromLocal8Bit("Сохранить как."),  
        QString("C:/"), QString("*.png"));  
  
    QFile file(fName);  
    if (file.open(QIODevice::WriteOnly)){  
        m_map->toImage().save(&file, "PNG");  
        file.close();  
    }  
  
}
```