

На правах рукописи

Миранков Валерий Александрович

**ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ
НЕФТЕПРОДУКТОВ В АКВАТОРИИ**

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2015

Работа выполнена на кафедре информационных технологий и систем безопасности федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор, **Бескид Павел Павлович**

Официальные оппоненты:

Сикарев Игорь Александрович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО "Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова", профессор кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности

Куракина Наталья Игоревна, кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)", доцент кафедры информационно-измерительных систем и технологий

Ведущая организация: **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет"**

Защита состоится 12 мая 2015 года на заседании Диссертационного совета Д 212.197.03 при Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195027, Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д.3, ауд.102 в 15час 30 мин.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет» и на сайте: <http://www.rshu.ru/university/dissertations/>

Автореферат диссертации разослан «10» апреля 2015 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета, доктор географических наук, доцент



Попова Е.С.

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 позволит 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.

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.

В первой главе диссертационной работы проанализировано состояние проблемы исследования, рассмотрены методы дистанционного обнаружения загрязнения; мониторинг разливов нефтепродуктов в акватории; способы и инструменты решения экологических задач в морских акваториях и прибрежных зонах; задачи информационной системы оперативной оценки экологического и техногенного риска.

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 ультрафиолетового 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.

Использование активной радиолокации 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.

Большим недостатком метода отражения является ограниченность угла приема отраженного сигнала.

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.

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.

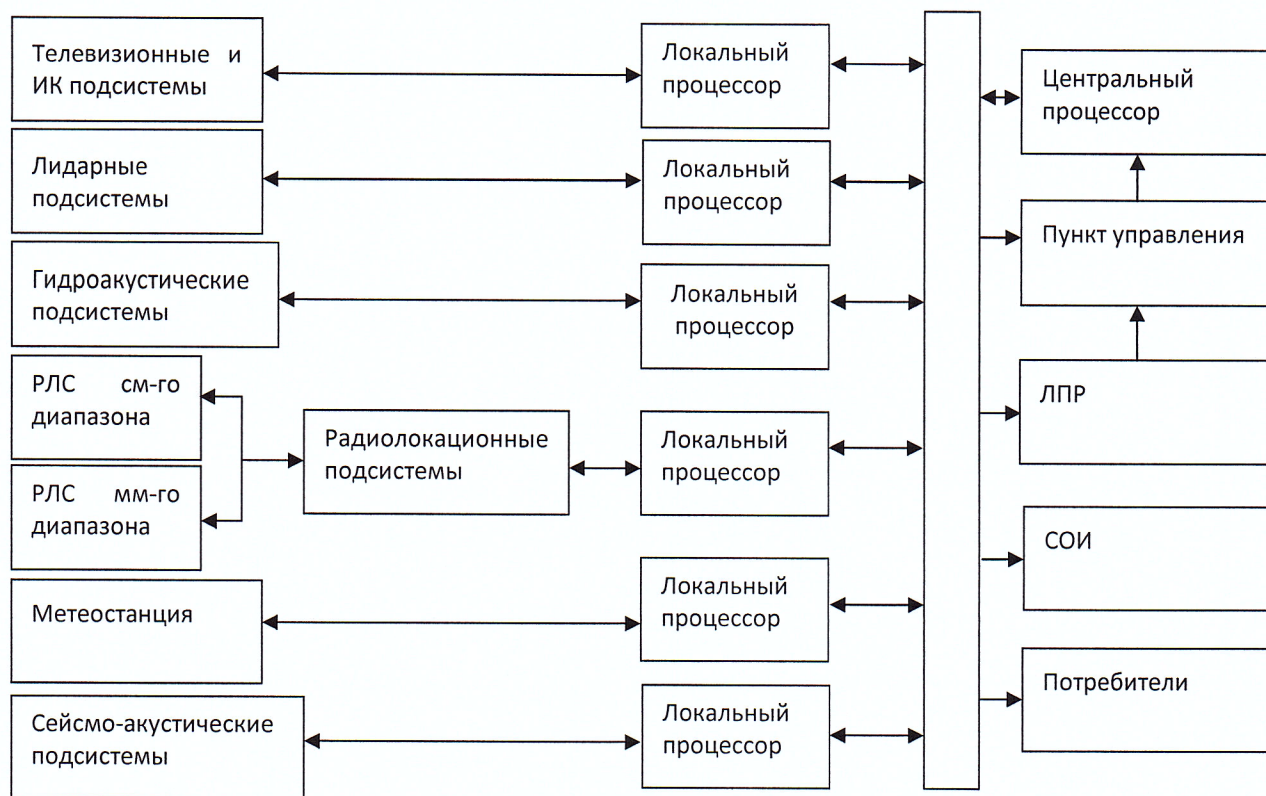


Рисунок 1 Структурная схем связи между центральным процессом, ЛПР и подсистемы (Викторов А.Д. 2006)

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.

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

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 как «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. 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 рисунка 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.

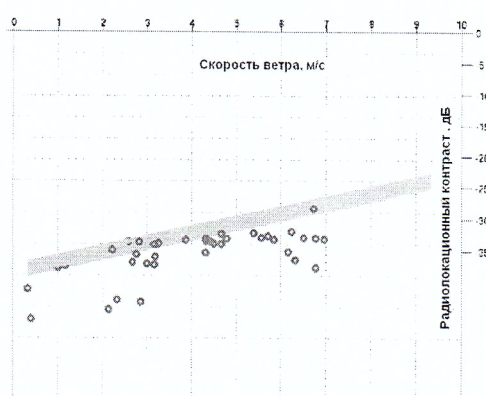


Рисунок 2. Зависимость радиолокационного контраста нефтяного пятна от скорости ветра (Бескид П.П., 2014)

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 свидетельствуют, что при использовании полосы C (длина волны излучения 5 см) контраст между нефтяным загрязнением и фоном уменьшается при увеличении угла обзора, о чем свидетельствуют данные на рисунке 3.

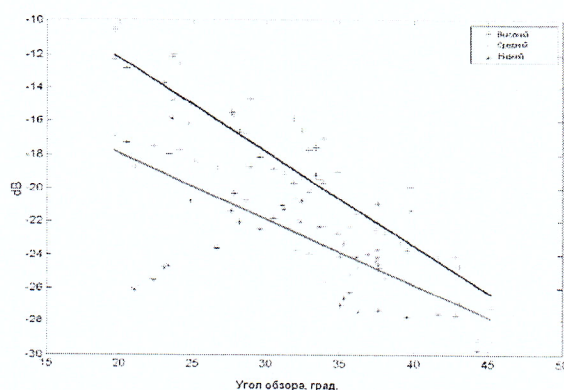


Рисунок 3. Зависимость радиолокационного контраста нефтяного пятна на фоне морской поверхности как функция угла обзора (Бескид П.П., 2014)

Микроволновые скаттерометры измеряют рассеяние целью микроволновой энергии и работают в Ки 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.

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 используются 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 сейсмоакустических сигналов;
- результаты физико-химических проб воды;
- метеорологические условия.

Во второй главе рассмотрены принципы интеграции информации в автоматизированной информационной системе дистанционного мониторинга, процесс объединения выходных данных датчиков на уровне сигналов, алгоритм слияния и обработки радиолокационных изображений на уровне параметров.

Повышение достоверности информации, поступающей в центр вторичной обработки удалось 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 повышена;
- система в целом становится менее уязвимой для шумов, так как шумовые компоненты сигналов датчиков некоррелированы в различных точках пространства/времени;

–результат слияния данных используется для поддержки принятия решений и помогает сократить время, необходимое для принятия решения, так как выносимое решение зависит от нескольких аспектов наблюдаемой ситуации.

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 рисунок4.

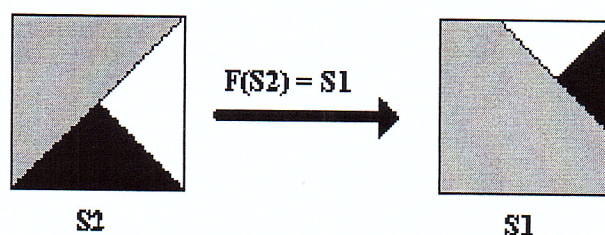


Рисунок 4.Метод совмещения изображений (Бескид П.П., 2014)

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

Таблица 1 Сравнение уровней слияния данных (Бескид П.П., 2014)

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

После коррекции системных и геометрических ошибок в наборе данных, сигналы интегрируются 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.

Каждый из приведенных алгоритмов имеет свои особенности. В работе предложен новый алгоритм, обладающий преимуществами каждого из них. Предлагаемый алгоритм эффективной регистрации двумерных изображений и последующего их слияния 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 $F_{\text{fitn_f}}$ – действие, присущее алгоритму TS ;

– усреднение показаний двух сенсоров.

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

$$\rho(x, y) = \int \log_2 \frac{w(x, y)}{w(x)w(y)} w(x, y) \mu(dx dy), \quad (1)$$

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.

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 5. показана взаимная ПРВ совмещенных изображений.

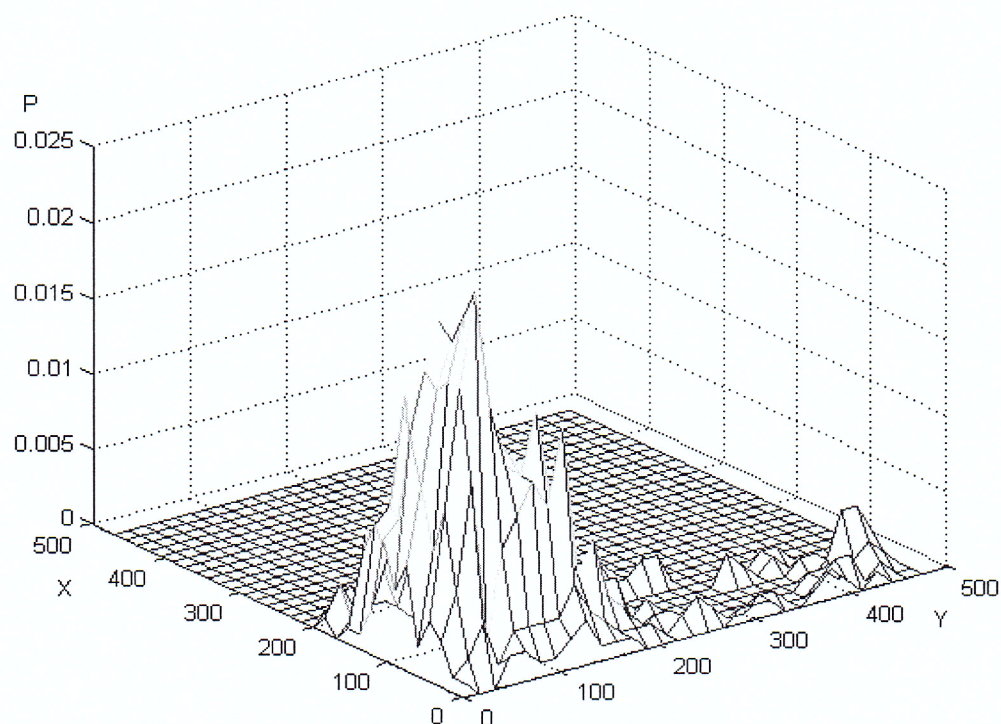


Рисунок 5. Взаимная ПРВ совмещенных изображений (Бескид П.П., 2014)

На рисунок 6. показана ПРВ двух изображений, прошедших процедуру слияния в соответствии с предложенным алгоритмом, реализованным в пакете MatLab.

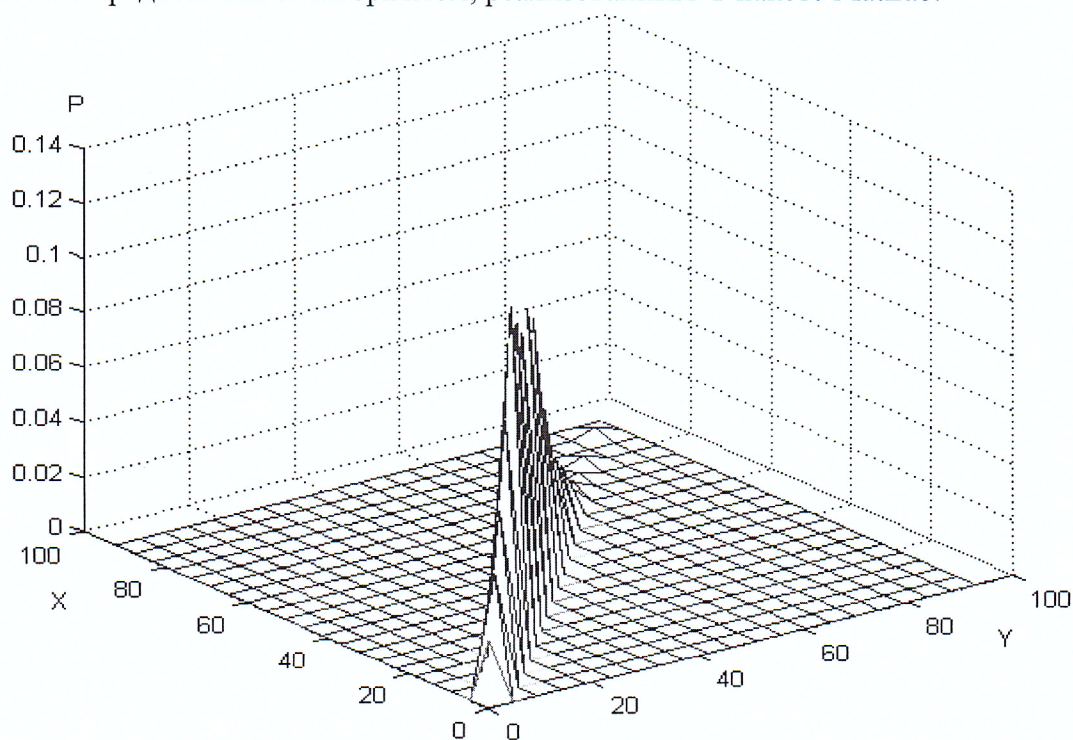


Рисунок 6. Взаимная ПРВ двух изображений, прошедших процедуру слияния (Бескид П.П., 2014)

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.

В третьей главе представлены методы управления защитой геоинформационных пространств, состав системы моделей и методов представления и обработки геоинформации в АСУ, типизация и интеллектуализация основных функций и подсистем СППР, 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.

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 6 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 покомпонентные композиции fuzzy-логики «И» и «ИЛИ».

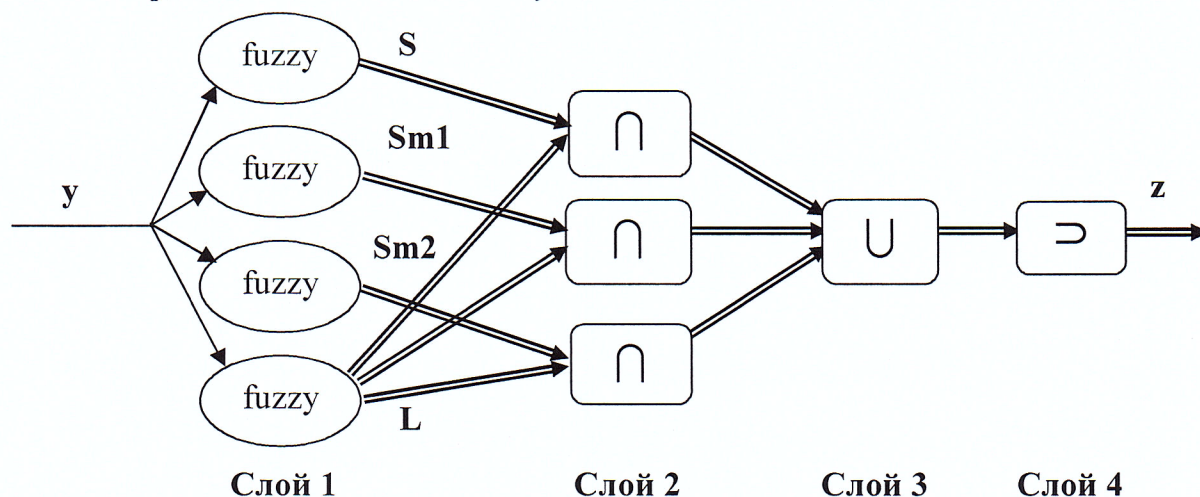


Рисунок 7 -Нечеткая модульная нейронная сеть (Бескид П.П., 2014)

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:

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

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

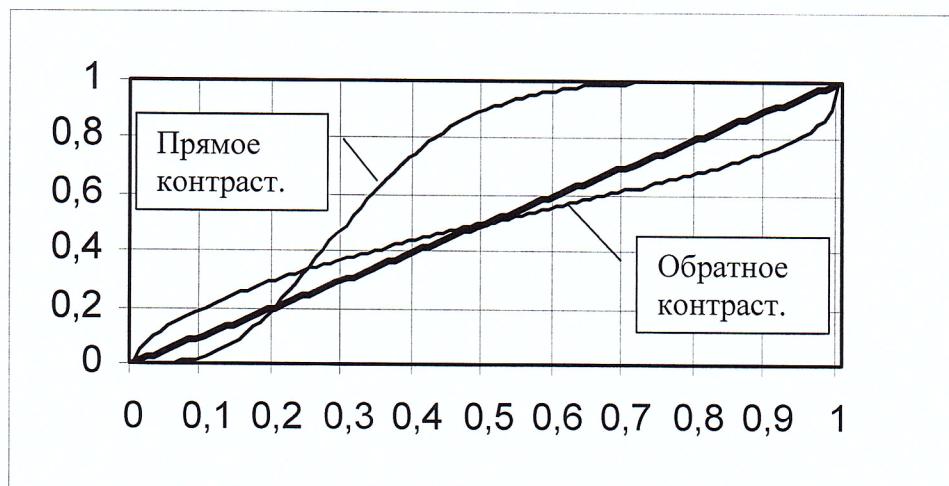


Рисунок 8 - Функции активации нечетких нейронов (Чернецова Е.А, 2004)

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 8.

В четвертой главе представлена оценка чувствительности морских побережий к различным видам антропогенного воздействия, исходные данные и требования, предъявляемые к геоинформационной системе поддержки принятия решения, структура геоинформационной программы поддержки принятия решений.

В работе предложена 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 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.

Таблица 2-Относительная уязвимость различных компонентов морских экосистем к основным видам антропогенных воздействий в прибрежье. (Шилин М.Б., 2009)

Компонент экосистемы	Коэффициент относительной уязвимости *				
	Геофизическая сейсмостойкость	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

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

Таблица 3 Относительная уязвимость различных компонентов экосистем к основным видам воздействий(Шилин М.Б., 2009)

Компонент экосистемы	Коэффициент относительной уязвимости				
	Воздействи е пневмо- источников	Увеличение количества взвеси в воде	Дампинг грунта	Нефтяна я пленка	Дисперги- рованная 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

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.

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.

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.

Выстраиваемая геоинформационная система имеет 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)

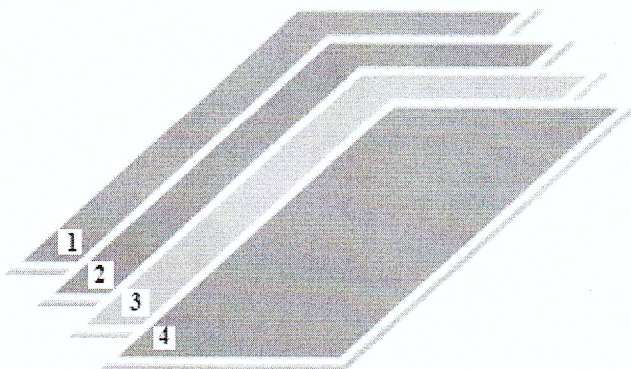


Рисунок 9 Схема слоев карты ГИС (Миранков В.А., 2012)

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.

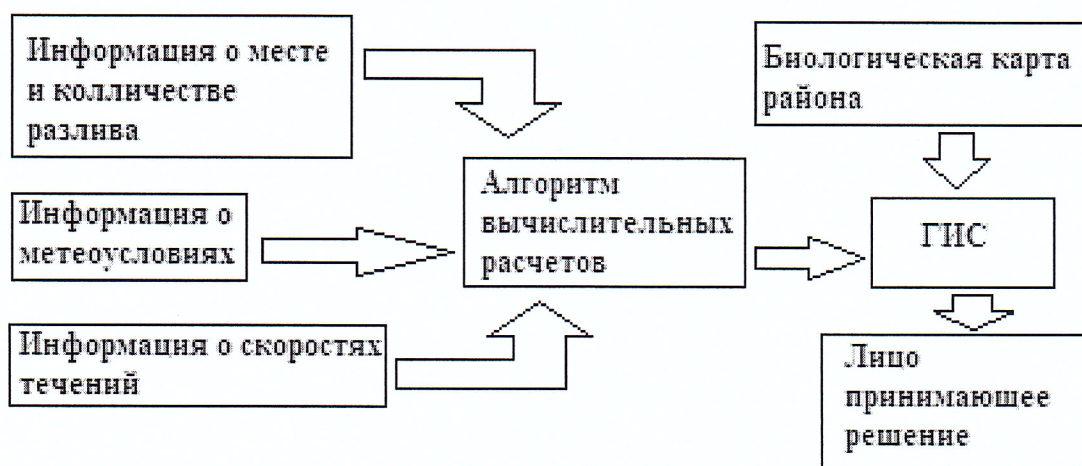


Рисунок 10. Схема алгоритма ГИС (Миранков В.А., 2012)

К лицу, принимающему решение, поступает 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.

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:

- Разработана методика 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.

Основные положения и некоторые результаты их практического применения изложены в следующих работах автора:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Бескид П.П., Миранков В.А. «Геоинформационная система поддержки принятия решений при ликвидации нефтяных разливов на поверхности акватории» Ученые записки РГГМУ №30 Санкт-Петербург 2013 (ВАК)
2. Бескид П.П. Миранков В.А. «Информационная система оценки экологического состояния морской поверхности» В мире научных открытий №4(52), Красноярск 2014 (ВАК)
3. Бескид П.П., Миранков В.А. «теоретическое обоснование архитектуры геоинформационных систем освещения обстановки» Ученые записки РГГМУ №36 Санкт-Петербург 2014 (ВАК)

Статьи и другие публикации:

4. 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.
5. 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.
6. 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

7. 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
8. 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.
9. 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.
10. 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»

Патенты:

11. Свидетельство о регистрации базы данных №2014621110 от 07.08.2014
12. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №20114618853 от 29.08.2014