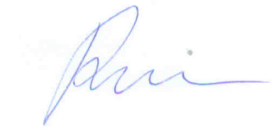


На правах рукописи



Коломейко Федор Викторович

Автоматизированная система поддержки принятия решений в научных исследованиях водных биоресурсов и их промысле на основе пространственно-временного мониторинга

Специальность 05.13.06 –

«Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в пищевой промышленности) (технические науки)»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Калининградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «КГТУ»)

Научный руководитель: **Сердобинцев Станислав Павлович**
доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», профессор кафедры автоматизации производственных процессов

Официальные
оппоненты: Первый оппонент
Лихтер Анатолий Михайлович
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», заведующий кафедрой общей физики

Второй оппонент
Макаров Алексей Михайлович
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «АГТУ»)

Защита состоится «27» февраля 2020 г. в 11:00 на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата, на соискание ученой степени доктора наук Д.212.148.02 при ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» по адресу 109316, г. Москва, ул. Талалихина, дом 33, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» по адресу: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11 и на сайте ФГБОУ ВО «МГУПП» <http://mgupp.ru>.

Отзывы на автореферат и диссертацию просим отправлять по адресу: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11. ФГБОУ ВО «МГУПП»

Автореферат разослан «__» _____ 20__ года.

Ученый секретарь Диссертационного совета Д.212.148.02

Доктор технических наук, профессор

Жиров Михаил Вениаминович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Рыбохозяйственный комплекс вносит важный вклад в национальную продовольственную безопасность страны. Для эффективной организации вылова водных биологических ресурсов большое значение имеет создание новых и совершенствование существующих методов изучения и прогнозирования состояния сырьевых ресурсов. Изучением рыбного промысла, планированием и прогнозированием его результативности занимались многие исследователи: Державин А.Н., Баранов Ф.И., Монастырский Г.Н., Никольский Г.В., Моисеев П.А.; Засосов А. В., Дементьева Т.Ф., Седых К.А., Доманевский Л.Н., Колесников В.Г., Бочаров Л.Н., Шунтов В.П., Beverton R. J. H., Holt S. J., Ricker W.E. и др. В настоящее время для эффективного решения этих задач используются современные методы статистической обработки биологических и промысловых данных совместно с автоматизированными технологиями сбора, хранения, анализа, передачи данных и визуализации полученной информации о промысле, биологии объектов промысла и среды их обитания. Данные, собираемые во время научных исследований водных биологических ресурсов и их промысла, неоднородны, дискретны по времени и пространству, нестационарны, имеют широкий диапазон значений и обладают высокой размерностью, поэтому традиционных математических методов для анализа и прогноза этих данных не всегда достаточно. В этой области важна смысловая и логическая обработка информации и опыт экспертов. Необходимо также учитывать малоформализованные знания специалистов-практиков. В некоторых ситуациях логическая (или смысловая) обработка информации превалирует над вычислительной.

Методы сбора, обработки, анализа информации, представленные в работе, направлены на получение пространственно-временного распределения объектов промысла и создание автоматизированной системы поддержки принятия решений в научных исследованиях водных биоресурсов и их промысла (АСППР). Особенно актуальна разработка новых и совершенствование существующих направлений повышения автоматизации научных исследований и промысла водных биоресурсов, с учетом обеспечения рационального природопользования. И в этом важную роль могут играть системы поддержки принятия решений (СППР). В развитие современных СППР внесли значительный вклад такие ученые как: Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Курицкий Б.Я., Ларичев О.И., Поспелов Г.С., Поспелов Д.А., Шапиро Д.И., Simon H., Newell A. и другие. СППР представляют собой информационные системы, создаваемые для поддержки человеческой деятельности, связанной с принятием решений по управлению технологическими процессами. К таким процессам относятся рыболовство и научные исследования водных биологических ресурсов (ВБР). В качестве лица, принимающего решение (ЛПР), может быть любой специалист, выполняющий анализ информации, предоставляемой СППР, и оказывающий влияние на выбор решения. В их числе могут быть руководители организаций, эксперты, аналитики, капитаны рыбопромысловых судов, научные сотрудники и т.п. Разработанная АСППР направлена на помощь ЛПР по выбору оптимальных, научно обоснованных решений в управлении промыслом и исследованиями ВБР более эффективным путём.

Цель работы - разработка автоматизированной системы поддержки принятия решений в научных исследованиях водных биоресурсов и управлении их промыслом на основе пространственно-временного мониторинга ВБР и факторов среды их

обитания, для повышения результативности промысла и обеспечения населения пищевой продукцией из ВБР на основе рационального природопользования.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Провести анализ научных исследований и промысла водных биоресурсов, как объекта автоматизации, определить этапы этих технологических процессов, требующие внедрения или повышения уровня автоматизации, выявить недостатки существующих подходов в этом направлении.

2. Разработать структурно-функциональную модель автоматизированной системы поддержки принятия решений в научных исследованиях водных биоресурсов и их промысле.

3. Разработать методику построения когнитивных моделей взаимодействия биотических и абиотических факторов как инструмента поддержки принятия решений в научных исследованиях и промысле водных биоресурсов.

4. Создать функциональную схему, структуру целей, алгоритмическое обеспечение АСППР для анализа и прогнозирования пространственно-временного распределения промысловых объектов и формирования рекомендаций и решений по управлению промыслом и исследованиями ВБР.

5. Разработать методику автоматизированного анализа временных рядов промыслово-биологических и абиотических данных с использованием сингулярного спектрального анализа/прогноза и географической информационной системы (ГИС).

6. Разработать программное обеспечение АСППР для обработки и анализа результатов пространственно-временного мониторинга, которое, основываясь на базах данных и знаний, формирует рекомендации и решения по управлению промыслом и исследованиями ВБР.

7. Разработать проект технической структуры и алгоритм проектирования АСППР для организаций, занимающихся исследованием и промыслом ВБР, с учетом особенностей их функционирования и доступности данных пространственно-временного мониторинга.

8. Разработать методику внедрения и использования АСППР в организациях, занимающихся научными исследованиями и промыслом ВБР.

Объектом исследования являются технологические процессы научных исследований ВБР и их промысла, а также способы и методы автоматизации сбора, обработки, анализа информации, принятия решений в исследованиях и промысле ВБР.

Предметом исследования является совокупность теоретических и практических задач, связанных с созданием систем класса СППР для научно-исследовательских и рыбодобывающих организаций, архитектура, информационное, программно-техническое обеспечение СППР и алгоритмы проектирования СППР.

Методы и средства исследования: теория автоматического управления, теория систем и системный анализ, теория множеств и нечетких множеств, методы когнитивного моделирования и нечеткой логики, методы математического моделирования, теория графов, теория принятия решений, теории вероятностей и математической статистики, корреляционного и регрессионного анализа, теории алгоритмов и языков программирования, теории баз данных и знаний, методология функционального моделирования и ГИС. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась, как правило, с помощью программного обеспечения, созданного автором. В качестве системы управления базами данных (СУБД) использовались Microsoft SQL Server, PostgreSQL и MySQL.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.13.06 – автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в пищевой промышленности) (технические науки) (пункты 8, 15, 16, 20).

Научная новизна работы заключается в следующем:

Разработана автоматизированная система поддержки принятия решений в научных исследованиях водных биоресурсов и их промысле, которая способствует повышению эффективности исследований и промысла ВБР за счет автоматизации сбора, обработки, анализа и использования разнородных данных пространственно-временного мониторинга на основе совмещения математического и когнитивного подходов для анализа количественных и качественных (экспертных) данных, а также сингулярного спектрального, интеллектуального (Data mining) и многомерного (технология OLAP) анализа данных.

Предложена методика построения когнитивных моделей взаимодействия биотических и абиотических факторов как инструмент поддержки принятия решений по управлению процессами научных исследований и промысла водных биоресурсов на основе совместного использования экспертной информации и данных пространственно-временного мониторинга с применением интеллектуального (Data mining) и многомерного (технология OLAP) анализа, фазификации и дефазификации количественных и качественных данных.

Разработана функциональная модель и алгоритм проектирования АСППР для организаций, занимающихся промыслом и исследованием ВБР с учетом особенностей их функционирования и доступности данных пространственно-временного мониторинга.

Создана методика автоматизированного построения карт пространственно-временного распределения ВБР, включающая стадии последовательного применения сингулярного спектрального анализа, сингулярного спектрального прогноза временных рядов и функциональности ГИС. Методика предложена для использования в качестве дополнения к общепринятым методам прогнозирования уловов и распределения ВБР.

Практическое значение работы. Разработанный программно-технический комплекс АСППР направлен на обработку, анализ промыслово-биологических данных и построение географических карт распределения ВБР и факторов среды их обитания. АСППР обеспечивает возможность снижения непроизводительных затрат судов на поиск скоплений промысловых объектов за счет повышения автоматизации определения перспективного района промысла на основе априорной и текущей информации. Это в итоге может повлечь улучшение экономической доступности конечной пищевой продукции из водных биоресурсов для потребителя. Такая система может использоваться для разработки плана научных исследований ВБР и накопления знаний о них, анализа данных о среде обитания и её влиянии на ВБР с целью рациональной эксплуатации и сохранения запасов этих биоресурсов. Часть программно-технических модулей АСППР реализованы и используются для автоматизации научных исследований в Атлантическом филиале ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («АтлантНИРО») (далее - АтлантНИРО).

Предложенная программно-техническая структура системы и веб-интерфейс взаимодействия эксперта с АСППР обеспечивает подготовку данных и рекомендаций для ЛПР, на основе которых он может выбирать эффективные варианты решений задач, возникающих во время промысла и исследований ВБР. АСППР предоставляет

количественную и качественную оценку работы рыбопромысловых и научно-исследовательских судов, поддерживая мониторинг состояния среды и визуализируя гидрометеорологические и биологические процессы в промысловых районах океана. В предлагаемой концепции АСППР присутствует блок пояснений, который предназначен для предоставления по запросу пользователя последовательности логических выводов и рассуждений, которыми оперировала система в процессе поиска решений. Наличие такого блока позволяет использовать АСППР не только для поддержки принятия решений в научных исследованиях и промысле, но и как обучающую систему для экспертов и в учебном процессе вузов. АСППР ориентирована, прежде всего, на уровень принятия решений рыбодобывающих, обрабатывающих и научно-исследовательских организаций рыбохозяйственного комплекса. В деятельности федеральных и региональных органов власти такая система может служить дополнительным вспомогательным инструментом. Отличительная черта предлагаемого подхода к разработке и использованию АСППР - система не ориентирована на заранее определённые объекты и районы промысла, так как при соответствующей подстройке и наполнении её баз данных и знаний она может быть использована для поддержки принятия решений по широкому набору объектов и районов промысла.

Положения, выносимые на защиту.

1. Автоматизированная система поддержки принятия решений в научных исследованиях водных биоресурсов и их промысле, которая обеспечивает повышение эффективности исследований и промысла ВБР за счет автоматизации сбора, обработки, хранения, анализа данных и использования результатов пространственно-временного мониторинга.

2. Методика построения когнитивных моделей взаимодействия биотических и абиотических факторов как инструмент поддержки принятия решений по управлению процессами научных исследований и промысла водных биоресурсов на основе совместного использования экспертной информации и данных пространственно-временного мониторинга с применением интеллектуального (Data mining) и многомерного (технология OLAP) анализа, фазификации и дефазификации количественных и качественных данных.

3. Методика автоматизированного построения карт распределения ВБР с последовательным применением сингулярного спектрального анализа/прогноза временных рядов и ГИС, позволяющая визуализировать распределение объектов промысла с заданными характеристиками.

4. Алгоритмическое и программное обеспечение АСППР, позволяющее преобразовать разнородные данные пространственно-временного мониторинга в единый поток информации и использовать его для формирования научно обоснованных рекомендаций при принятии решений по управлению процессами научных исследований и промысла ВБР.

Личный вклад автора заключается в обосновании и разработке алгоритмов анализа и обработки промыслово-биологической и гидрологической информации, создании баз данных (БД) и знаний (БЗ), программных средств для автоматизации сбора и анализа гидрологических, гидробиологических и промысловых данных, интерпретации полученных результатов, создании комплексных информационных систем. Представленные результаты работы являются итогом многолетних исследований, проведённых лично автором и при его непосредственном участии в 2000 - 2019 гг.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием методов системного анализа и теории принятия решений, экспериментальными исследованиями технологических процессов ввода, обработки, анализа научной и рыбопромышленной информации, проведенными во время научно-исследовательской деятельности АтлантНИРО, а также доказывается результатами практического использования модулей АСППР в АтлантНИРО и материалов, подготовленных с использованием модулей, - в деятельности рыбодобывающих и рыбообрабатывающих организаций.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на коллоквиумах отдела «Региональный центр данных», Ученых советах и отчетных сессиях АтлантНИРО в 2000–2019 гг., заседаниях кафедры «Автоматизации производственных процессов» Калининградского государственного технического университета, всероссийских и международных (Калининград 2006, 2007, 2010, 2011, 2012, 2016, 2018, Мурманск 2004, 2006, 2008, Владивосток 2004, Ярославль 2007, Пенза 2011, Talcahuano – Chile 2007, Santiago - Chile 2008) конференциях. По теме диссертационной работы опубликована 31 научная работа, в том числе 6 - в изданиях, рекомендованных ВАК, получено два авторских свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и одно о государственной регистрации базы данных.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения и выводов, списка литературы (160 источников, из которых 28 на иностранных языках). Работа изложена на 216 страницах, иллюстрирована 109 рисунками, содержит 30 таблиц и 2 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена рассмотрению современного состояния автоматизации сбора, обработки, анализа данных и управления в технологических процессах научных исследований и промысла водных биоресурсов. Проведен анализ этих процессов как объекта автоматизации, выделены этапы научной и промысловой деятельности и их взаимосвязь. Созданы соответствующие графические модели, в том числе блок-схемы взаимосвязей технологических процессов исследований и промысла ВБР, и структурно-функциональные модели в нотации IDEF0 (рисунок 1). Указано, что в АСППР рекомендации о ведении промысла ВБР должны формироваться с учетом рационального природопользования, подразумевающего полное использование добытых биоресурсов, восстановление их запасов и минимизацию загрязнения среды их обитания. Так же необходимо учитывать правовые основы регулирования промысла – такие как Федеральный закон РФ "О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов" и международные, такие как конвенция ООН по морскому праву от 10.12.82, многочисленные региональные межгосударственные соглашения о регулировании промысла ВБР в отдельных районах Мирового океана. Описаны операции технологических процессов исследований ВБР и их промысла. Представлены соответствующие измерительные приборы. Выявлены, обобщены, систематизированы и проанализированы особенности сбора и обработки промыслово-биологической, гидрологической информации. На основании этого определены способы измерения (ручной или автоматический) для параметров состояния ВБР и среды их обитания. Это используется в качестве одной из основ для планирования повышения уровня автоматизации сбора и обработки информации при разработке и функционировании АСППР. С помощью сетевых моделей проведён анализ операций сбора и ввода

информации в БД в процессе научных исследований и промысла ВБР. Выявлены недостатки и проблемы существующих методов сбора, обработки и анализа информации. Определены направления их развития и улучшения для повышения эффективности исследований и промысла ВБР.

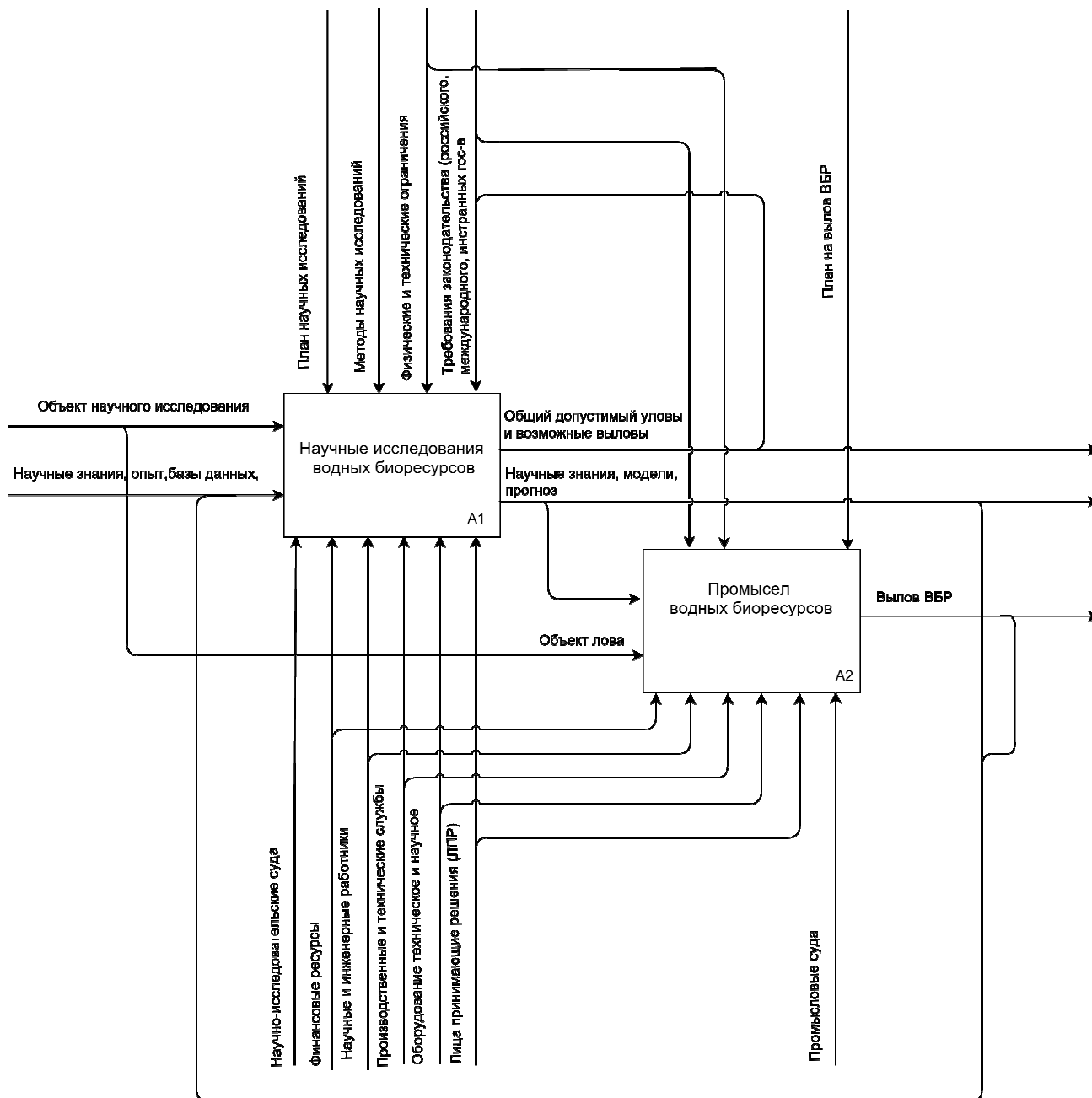


Рисунок 1– Структурно-функциональная модель промысла и научных исследований ВБР в нотации IDEF0 с точки зрения ЛПП

Во второй главе описаны факторы, влияющие на пространственно-временные распределения водных биоресурсов, и обоснована необходимость их наиболее полного учета в автоматизированной системе поддержки принятия решений. Показана необходимость формирования баз знаний о взаимосвязях этих факторов, предложена продукционная модель такой базы знаний. Факторы экосистемы сложны, обладают многими уровнями связей и могут описываться как количественно, так и качественно. Показано, что исследования ВБР и их промысел с точки зрения системного анализа, относятся к сложным, слабоструктурированным процессам, системам. Поэтому эксперты и ЛПП часто при принятии решений в задачах анализа промысла и

состояния ВБР оперируют сравнительно-оценочными формулировками, например, «благоприятность условий для нереста» или «сильный, слабый апвеллинг», «скопления высокой плотности». В связи с этим предложено для формализации, учета таких знаний, утверждений и выводов применять в АСППР методы теории нечетких множеств и нечеткой логики, которые хорошо себя зарекомендовали в системах поддержки принятия решений. В этом случае определяющим в АСППР становится понятие лингвистической переменной, которая, например, для апвеллинга (приняв $\min(\Delta t)=0.2$ °С, $\max(\Delta t)=15$ °С) может быть записана в наборе пяти элементов: {апвеллинг, {слабый, средний, сильный}, [0.2,15]} (правило для формирования слов с добавками “очень”, “более-менее”), функция принадлежности S . Функцию принадлежности выбираем класса S и в нашем случае она будет выглядеть следующим образом:

$$s(t;0.2,7.6,15) = \left\{ \begin{array}{l} 0, t \leq 0.2, \\ 2\left(\frac{t-15}{14.8}\right)^2, 0.2 \leq t \leq 7.6, \\ 1-2\left(\frac{t-15}{14.8}\right)^2, 7.6 \leq t \leq 15, \\ 1, t \geq 15 \end{array} \right\} \quad (1)$$

Учитывая понятие промышленной обстановки, определено место АСППР в комплексе: водный биоресурс, его биологическое состояние, биотические и абиотические факторы, ЛПР, эксперты, промышленные и научно-исследовательские суда. Определяя это место в терминах теории автоматического управления, можно получить четкое понимание о месте АСППР и взаимосвязях указанных элементов комплекса. Составлена структура целей АСППР (рисунок 2).

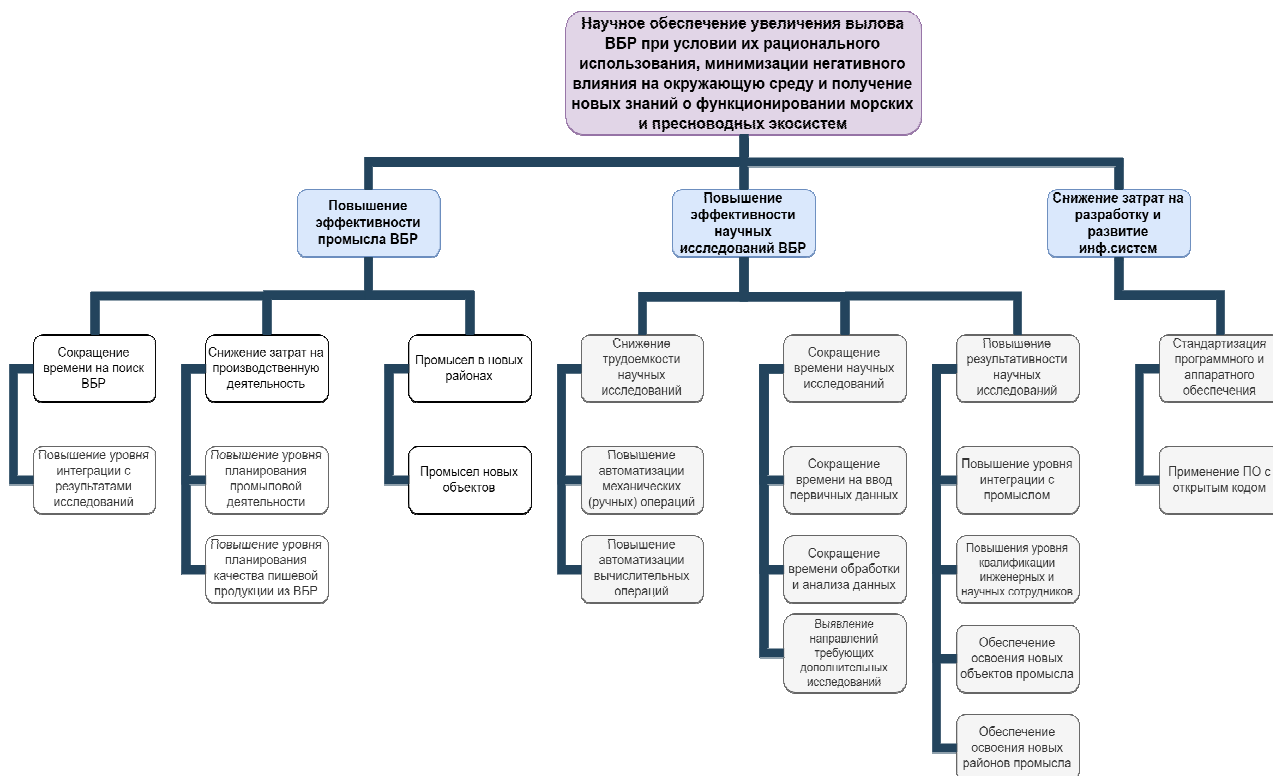


Рисунок 2 – Структура целей АСППР

На основе структуры целей определен набор входных, управляющих элементов, средств для реализации функций системы и её выходы для создания структурно-функциональной модели АСППР и последующей её декомпозиции на составные блоки в нотации IDEF0 (рисунок 3).

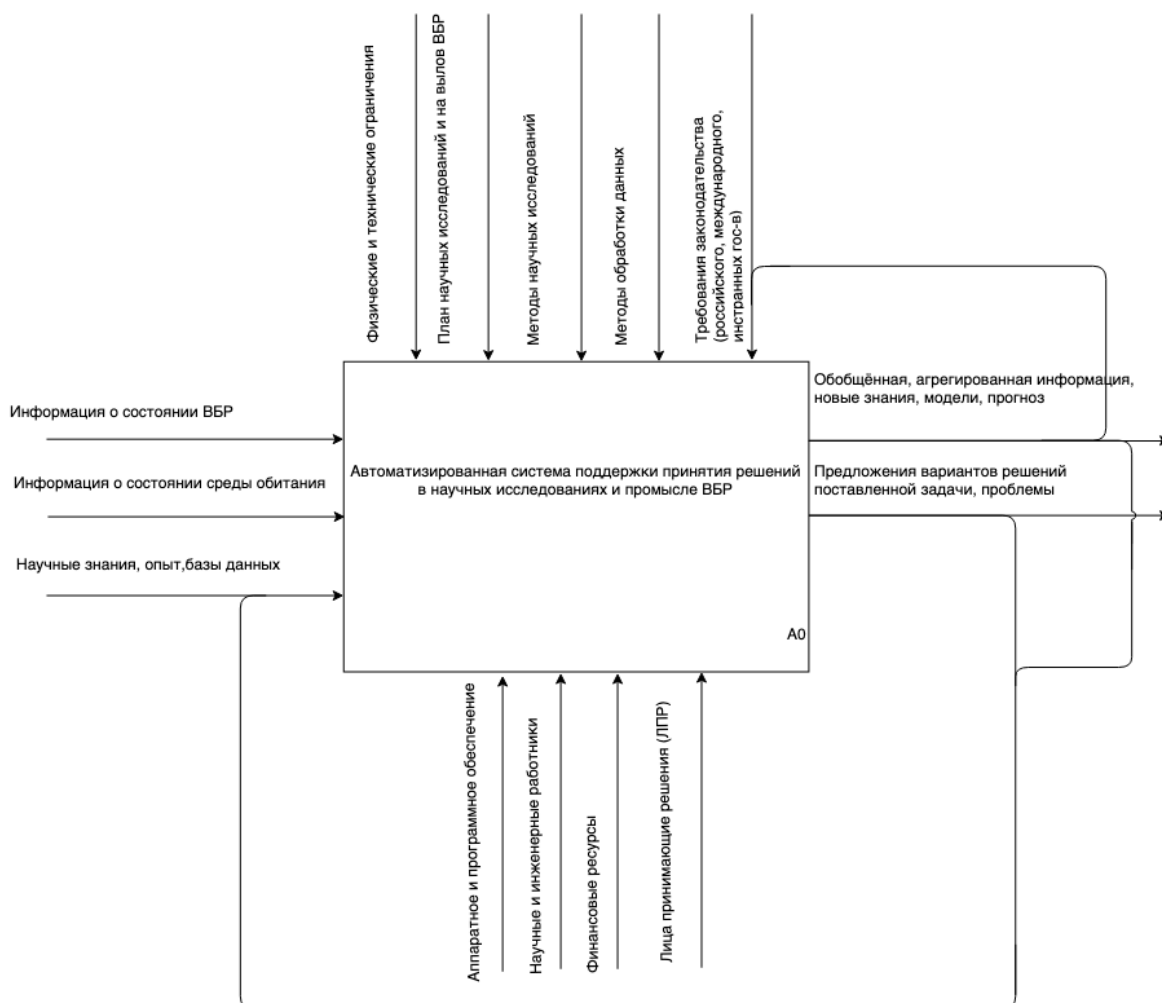


Рисунок 3 – Структурно-функциональная модель АСППР в нотации IDEF0

АСППР предназначена для помощи ЛПР в обобщении, анализе информации и выработке решений задач и ситуаций в исследованиях и промысле ВБР, которые относятся к слабоструктурированным системам. Формирование решений в таких системах согласно современной теории поддержки и принятия решений может основываться на когнитивном моделировании. Такое моделирование использует понятие когнитивная карта, которая отражает причинно-следственные связи между элементами системы, ситуации или проблемы. Разработанные структурно-функциональные модели научных исследований и промысла ВБР, АСППР и структура целей АСППР позволяют выделить набор необходимых элементов АСППР и оценить причинно-следственные связи между ними. На основании этого построена когнитивная модель научных исследований, промысла и элементов АСППР, помогающая определить необходимый уровень их автоматизации. Для этого задается множество факторов ситуации F , определяются шкалы факторов, и когнитивная карта задается матрицей смежности W ориентированного графа элементов системы. Пусть факторы ситуации характеризуются некоторыми начальными значениями,

представленными в виде вектора начального состояния $X(0) = (x_1(0), \dots, x_n(0))$. Эксперт может увеличить или уменьшить начальные значения любых факторов $X(1) = (x_1(1), \dots, x_n(1))$. Для получения прогноза развития ситуации записывается система конечно-разностных уравнений вида:

$$P(t+1) = WP(t), \quad (2)$$

где $P(t)$ и $P(t+1)$ - векторы приращений значений факторов в моменты времени t и $t+1$.

Разработан программный модуль в составе АСППР, реализующий созданную методику для построения когнитивных моделей взаимодействия биотических и абиотических факторов (рисунок 4). Эта методика и модуль выступают в качестве инструмента поддержки решений задач научных исследований и промысла водных биоресурсов на основе совместного использования экспертной информации и данных пространственно-временного мониторинга.

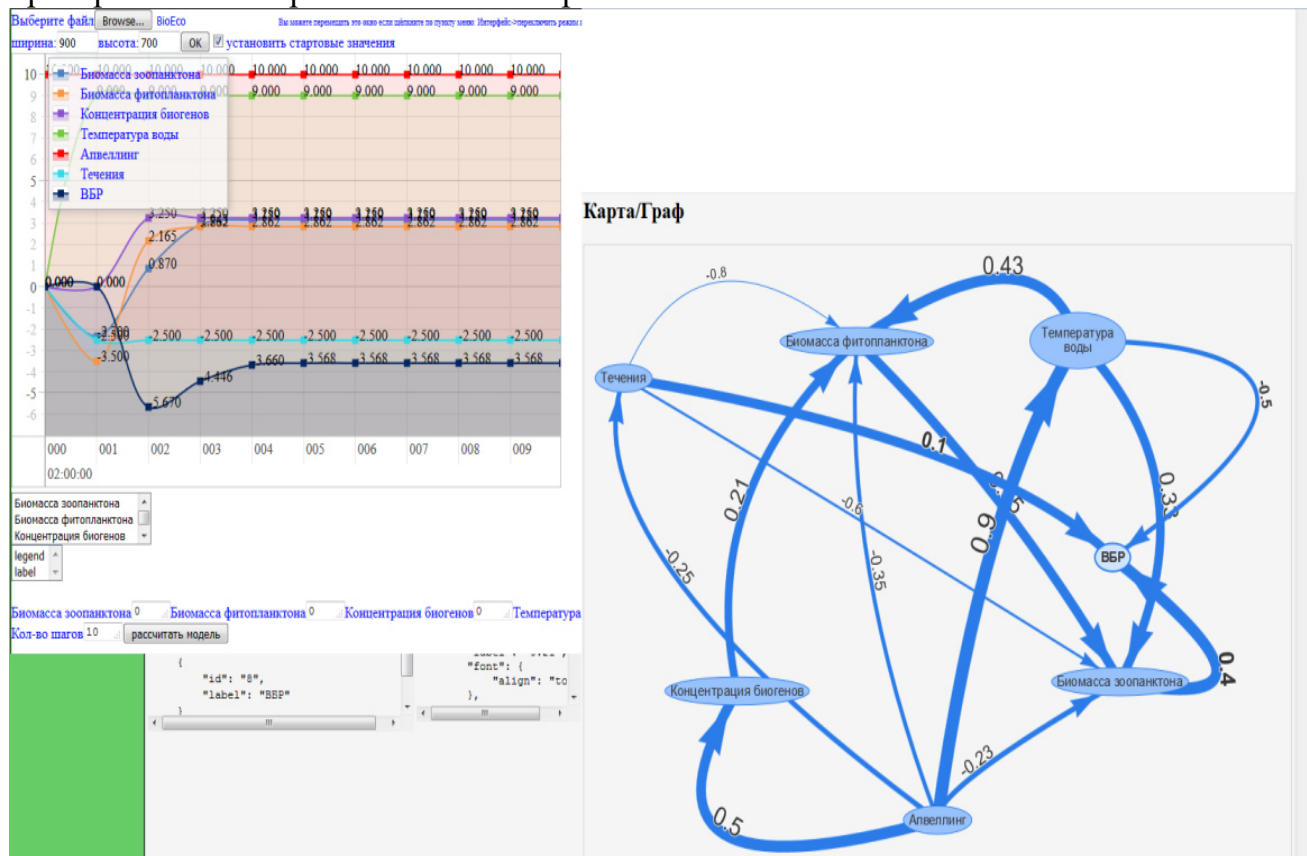


Рисунок 4 – Пример сформированной в АСППР когнитивной модели взаимодействия биотических и абиотических факторов среды обитания ВБР

На основании структурно-функционального и когнитивного моделирования составлена функциональная структура АСППР (рисунок 5). Разработанная система представляет собой комплекс программно-технических средств для сбора, хранения, анализа, обработки, прогноза, формирования решений поставленных задач, отображения состояния ВБР и среды их обитания. В подсистему ввода автоматизированной системы поступают данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ), научно-исследовательских и промысловых судов. Подсистема обработки и визуализации данных включает программно-аппаратные средства, необходимые для комплексной обработки информации, направляемой в (из) СУБД. Она содержит набор БД, БЗ по исследуемым объектам и районам промысла. Подсистема включает модули, реализующие технологии анализа данных OLAP (англ. online analytical processing -

интерактивная аналитическая обработка) и Data mining – (интеллектуальный анализ данных).

Для обработки информации из различных источников в системе поддержки принятия решений созданы соответствующие программные модули, которые реализуют алгоритмы обработки данных. АСППР обеспечивает для ЛПР автоматизацию выбора и интеграцию БД и БЗ.

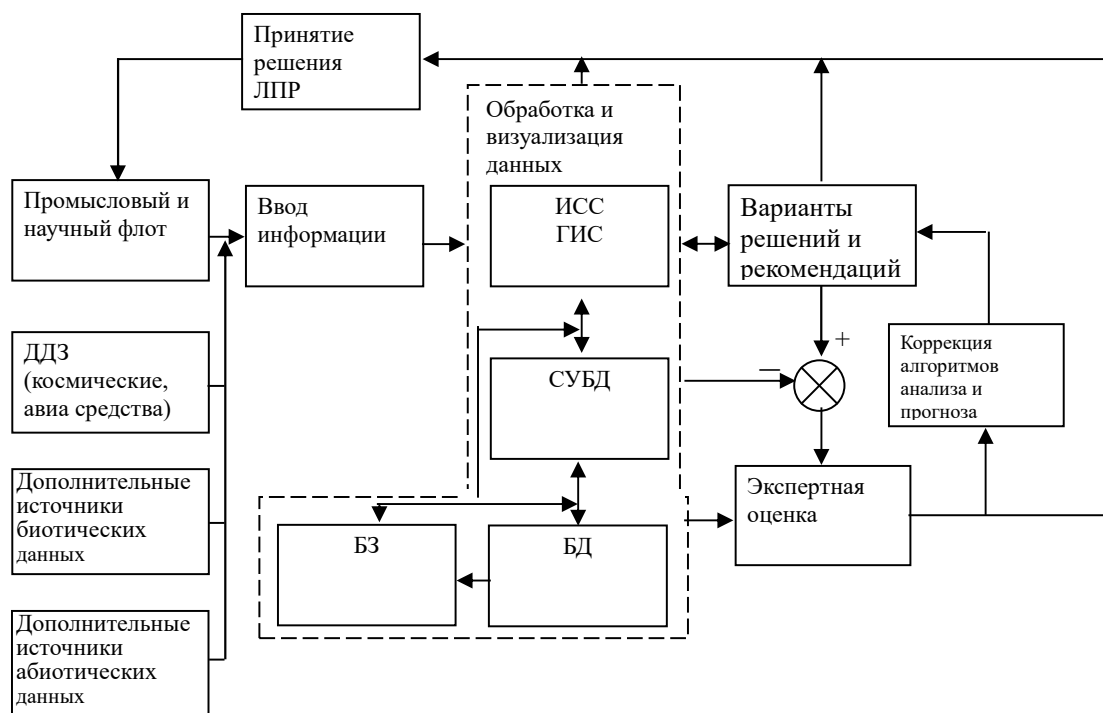


Рисунок 5 – Функциональная структура автоматизированной системы поддержки принятия решений в научных исследованиях водных биоресурсов и их промысле на основе пространственно-временного мониторинга

БЗ на основе продукционной модели представления знаний может содержать типовые ситуации в интересующем ЛПР районе, описание основных особенностей поведения и распределения рыб, рекомендации по маневрированию флота, годы-аналоги в соответствии с текущей ситуацией. В АСППР предусмотрен модуль для пополнения БЗ экспертом, ЛПР. Для пространственной визуализации данных используется ГИС, в которой осуществляется построение карт распределения параметров, характеризующих среду обитания ВБР и их состояние.

Основными функциями системы поддержки принятия решений являются: ввод, систематизация, обработка и архивирование оперативных данных промысла, состояния биологии ВБР и среды их обитания, формирование рекомендаций для ЛПР, формирование отчетов о результатах анализа данных.

Вопросы математического моделирования пространственно-временного распределения биологических популяций и сообществ пока не получили такого развития, как моделирование динамики их численности. В работе предложен подход к прогнозу и построению пространственно-временного распределения ВБР и влияющих факторов на основе анализа промысловой статистики, биотических и абиотических факторов, представленных в виде временного ряда и экспертной информации. Для анализа динамики временного ряда и прогнозирования использовано сочетание относительно новых и быстро развивающихся методов сингулярного спектрального

анализа и прогноза (ССА) (в частности, модификация ССА под названием “Гусеница”). В совокупности эти методы обладают преимуществами при прогнозировании нерегулярных, нестационарных временных рядов, имеющих место в статистических наблюдениях за ВБР и средой их обитания. Согласно предложенному подходу вся акватория разделяется на квадраты, размер которых задаётся ЛПР, экспертом. С помощью созданного программного обеспечения значения факторов автоматически суммируются или усредняются в каждом квадрате с выбранной временной дискретностью. В итоге формируется набор временных рядов, характеризующих динамику исследуемого фактора в каждом квадрате акватории. При анализе величины вылова временной ряд формируется следующим образом:

$$Z_{lf} = \sum_{f=1}^r \sum_{l=1}^n v_{lf}, \quad (3)$$

где Z_{lf} – значение формируемого временного ряда, v - вылов за одно траление или судо-сутки лова, l – номер квадрата акватории, f – номер временного интервала, n – число тралений (судо-суток лова) в месяц, r - общее число временных интервалов. Пример части сформированного временного ряда для одного из квадратов акватории ИЭЗ Мавритании приведён в таблице 1.

Таблица 1. Пример сгруппированного временного ряда

Широта	Долгота	Вылов, т	% вида	Дата
18,5	-16,5	1518,43	35,51	06.96
18,5	-16,5	51,9	6,36	07.96
18,5	-16,5	91	9,24	08.96

В соответствии с методом ССА временной ряд представляется в виде траекторной матрицы, которая раскладывается в сумму элементарных матриц, задаваемых набором из собственного числа и двух сингулярных векторов: собственного и факторного: $X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^m$. Реализация ССА в составе АСППР, позволяет эксперту очистить сформированный временной ряд от шума, выделить тренды и сезонные составляющие в выловах судов, динамике показателей среды обитания и биологического состояния ВБР. Предлагаемый подход удовлетворительно (с достоверностью 70-85%) решает задачи среднесрочного прогнозирования (временные интервалы - месяц, квартал) и отчасти краткосрочного прогнозирования (временные интервалы - дни, недели). Экономические и административные особенности промысловой деятельности являются одной из причин погрешности в математическом прогнозировании промысла, однако они могут быть учтены при формировании и применении базы знаний и опыта эксперта, используемых в АСППР. Методика предложена для использования в качестве дополнения к общепринятым методикам прогнозирования распределения ВБР, которые могут применяться в рамках АСППР.

В качестве примера расчёта на рисунке 6 показан временной ряд промысловой статистики и прогноз этого ряда на фоне реальных данных с помощью методов ССА для одного из квадратов акватории $2^\circ \times 2^\circ$. Видно, что прогноз является достаточно точным и удовлетворительно описывает динамику суммарных уловов ставриды, реально имевших место в 2014 г в атлантической рыболовной зоне Марокко.

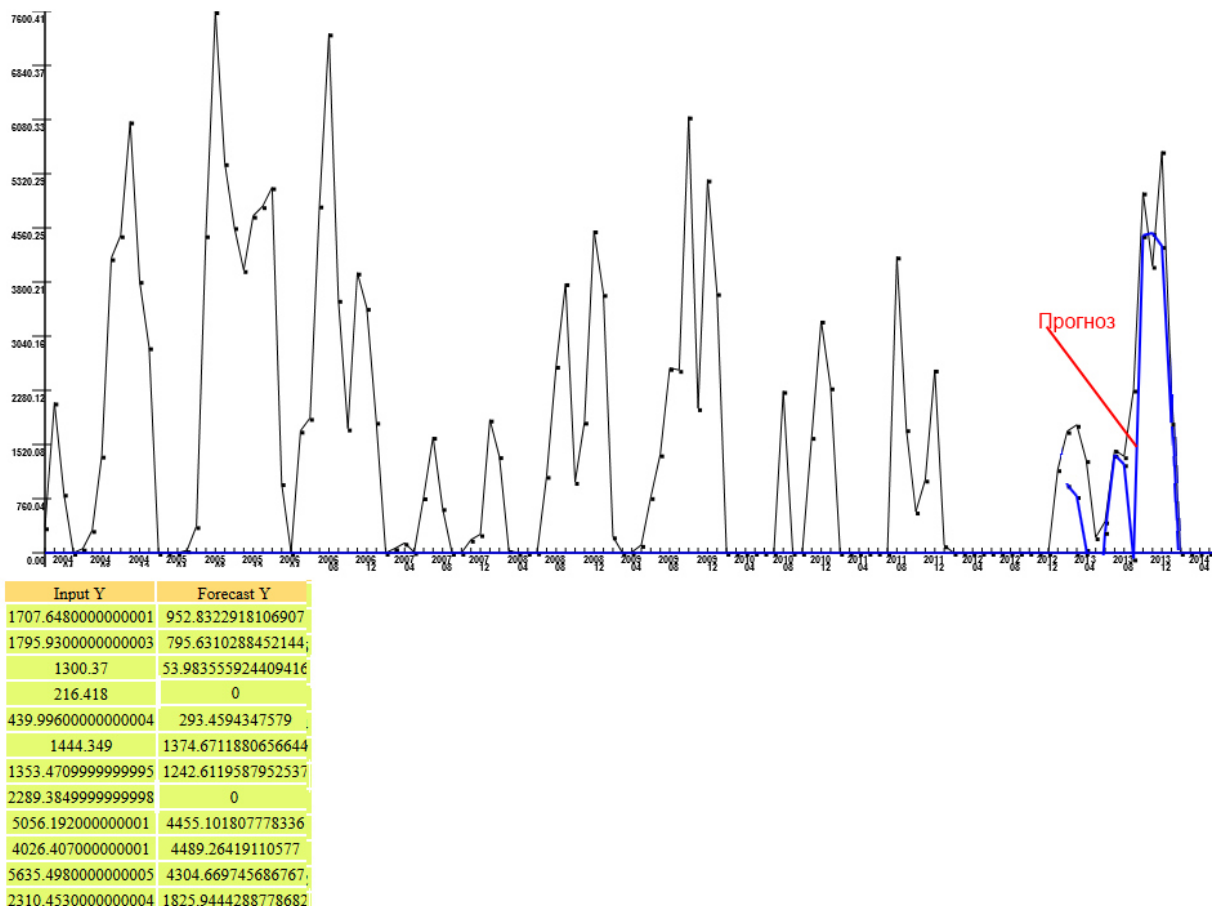


Рисунок 6 – Прогноз вылова ставриды (2004 – 2014 гг.) в тоннах на фоне фактических выловов в интерфейсе АСППР

Итогом работы алгоритма прогноза является пространственная сетка точек со значениями прогнозируемого вылова в рассматриваемом районе для заданного времени. В АСППР в картографическом блоке полученные сетки с помощью интерполяции трансформируются в итоговые карты распределения фактического (рисунок 7а) и прогнозируемого уловов ВБР (рисунок 7б).

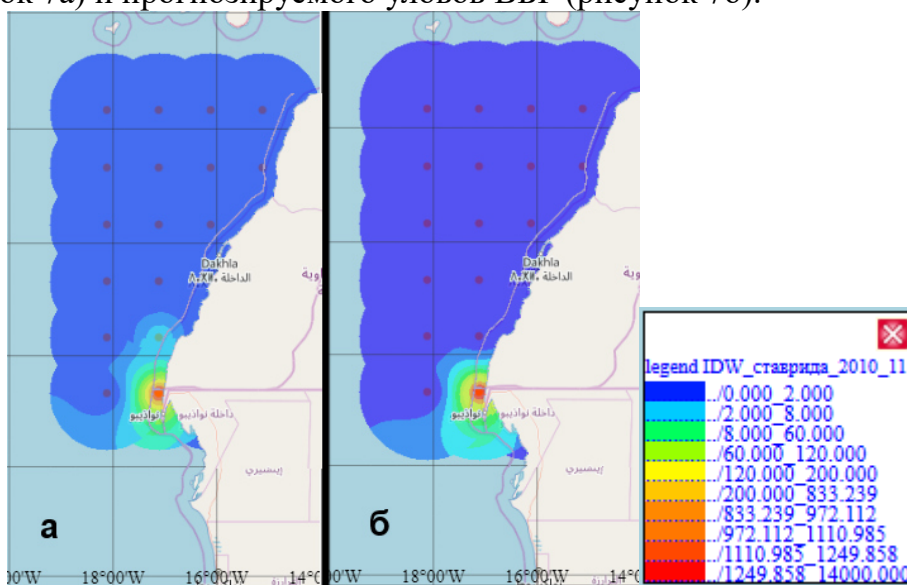


Рисунок 7 – Пример карты распределения фактических (а) и прогнозируемых (б) уловов (т.) ставриды в ноябре 2010 г. в интерфейсе АСППР

Результаты промысла для рыбоперерабатывающих предприятий важны не только временем и местом вылова ВБР, но и биологическим состоянием, химическим составом и пищевой ценностью гидробионтов. В пищевой промышленности часто большую ценность имеет не только мышечная ткань гидробионта, но и другие его части, например, гонады - икра. На основании статистических расчётов обосновано, что количество и зрелость икры минтая (высоко ценится в пищевой промышленности) сильно варьируются в зависимости от района и сезона лова, биологической характеристики рыб (пол, зрелость гонад, размера, массы). Это может быть использовано для достижения максимального выхода и качества икры при планировании и ведении промысла и реализации прослеживаемости продукции из ВБР. В АСППР эти расчёты автоматизированы и поэтому предлагаемая система может использоваться и технологами пищевой промышленности при планировании качества продукции из ВБР. Статистические расчеты показали, что закон распределения массы икры в особях является нормальным, это позволяет использовать для анализа классические методы математической статистики. В соответствии с этим был разработан алгоритм обработки экспериментальных данных (рисунок 8).



Рисунок 8 - Технологический процесс обработки данных в АСППР при анализе влияющих факторов на биологическое состояние объектов промысла

В третьей главе рассматриваются вопросы, посвящённые разработке программно-технического комплекса АСППР. Описаны программная и техническая структура, взаимодействие блоков системы. Разработана схема информационных потоков в АСППР (рисунок 9).

Созданное программное обеспечение системы гибко сочетает в себе web-технологии (в том числе веб-ГИС, работающую в большинстве веб-браузеров) и Информационно-справочную систему АтлантНИРО (ИСС). Указанное программное обеспечение создано автором и под его руководством на языках программирования JavaScript, PHP, Borland Delphi и C++. Ядром программного комплекса являются коммерческая СУБД MS SQL Server, СУБД PostgreSQL и MySQL, являющиеся свободным программным обеспечением с открытыми исходными кодами. Указанные СУБД взаимодействуют с программными модулями ввода, верификации, анализа данных, построения отчётов. ИСС создана для автоматизации работы с промыслово-биологическими БД и содержит модули для пополнения БД информацией непосредственно в ходе промысловых и научных рейсов. Обосновано, что разрабатывать программные модули для АСППР целесообразно на основе открытого ПО.

Представлены принципы формирования БЗ и описана реализация методов интеллектуального анализа данных, в частности таких как “ассоциативные правила” и “деревья решений”. В дальнейшем для развития и увеличения функциональности АСППР планируется расширение набора методов интеллектуального анализа данных, доступных в системе пользователю. Вводятся нейросетевые алгоритмы для анализа, прогнозирования и формирования рекомендаций ЛПР.

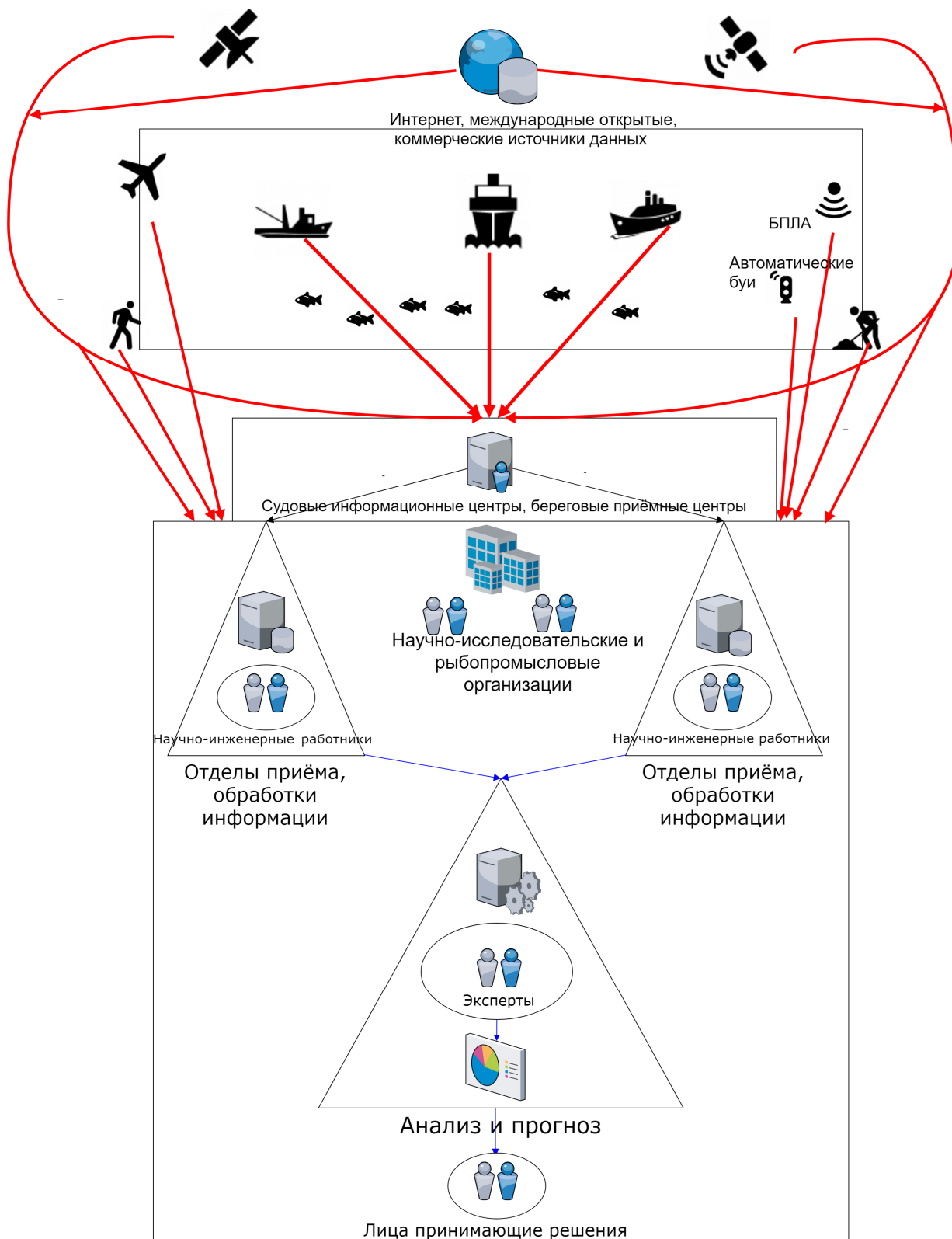


Рисунок 9 - Обобщённая схема информационных потоков АСППР

Внедрение автоматизации обработки и анализа данных позволяет повысить качество работы экспертов и обеспечить своевременное принятие рациональных решений управленческим персоналом. Описанные программные решения совместимы с выбранным аппаратным обеспечением, основанном на базе процессоров Intel или AMD. Разработанная система является распределённой и включает в себя ряд серверов: почтовый, главные сервера БД, БЗ и вспомогательные,

размещённые на промышленных и научно-исследовательских судах. С серверами по клиент-серверной технологии соединены персональные компьютеры научных сотрудников, промышленников, ЛПР и экспертов. Для реализации функций АСППР, исходя из выделенных потоков информации и возможных режимов работы системы управления и локальной вычислительной сети, даны рекомендации по выбору конфигурации серверов и автоматизированных рабочих мест (АРМ) (тип процессора, объём и количество жестких дисков, характеристики видеокарты и т.п.). В целях повышения отказоустойчивости АСППР, локальной вычислительной сети организации и судна обосновано применение резервных серверов и автоматическая репликация данных с основного сервера (ов) на резервные.

Для оптимизации выбора программно-аппаратного обеспечения АСППР и связей между его компонентами разработан алгоритм проектирования АСППР для организаций, занимающихся исследованием и промыслом ВБР, с учетом особенностей их функционирования и доступности данных пространственно-временного мониторинга. Под оптимизацией в данном случае понимается определение необходимого количества и качества компонентов аппаратного и программного обеспечения при минимизации затрат на его приобретение. Одним из основных этапов указанного алгоритма является создание графа предварительной структуры, проектируемой АСППР. В качестве веса ребер графа рассчитывается интегральный показатель, учитывающий количество измерений, погрешность измерительных приборов, производительность серверов, ПК и другие характеристики, установленные лицом, принимающим решения, как значимые при выборе элементов АСППР. После этого этапа граф предварительной структуры АСППР может выглядеть так, как показано на рисунке 10.

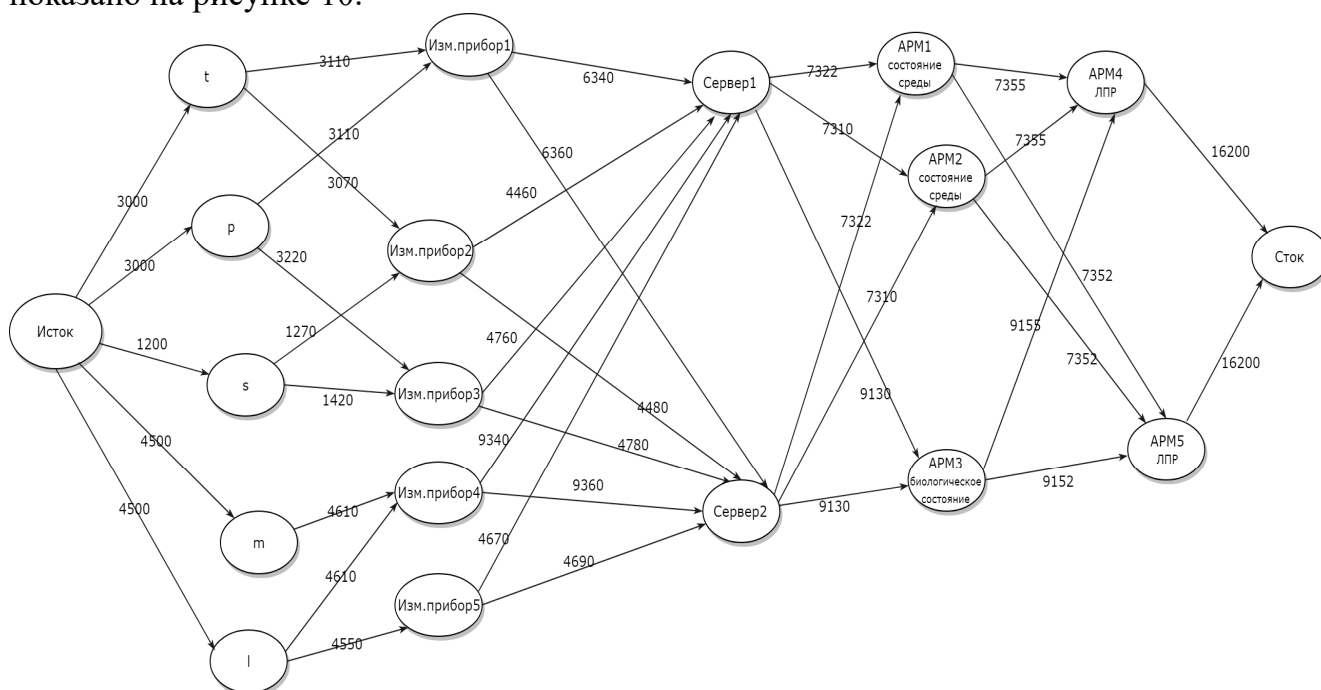


Рисунок 10 – Граф структуры АСППР с весами ребер в виде интегрального показателя

Алгоритм проектирования АСППР (рисунок 11) основан на модифицированном алгоритме Форда-Фалкерсона для решения задачи нахождения максимального потока в транспортной сети (графе). В составе АСППР создан программный модуль для автоматизации расчетов этапов указанного алгоритма.

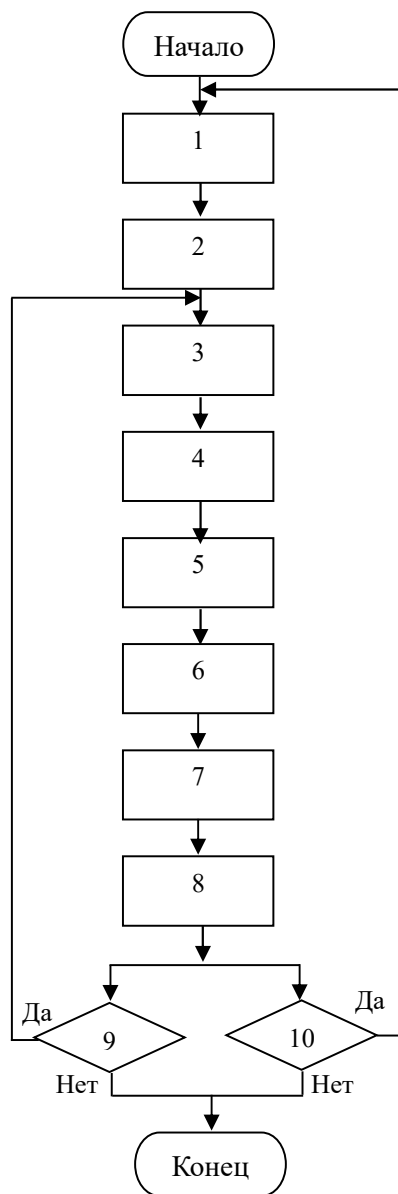


Рисунок 11 – Блок-схема алгоритма проектирования АСППР

Обозначения, принятые на рисунке 11:

1. Определение набора факторов, параметров среды и биологического состояния ВБР, которые необходимо измерять и учитывать во время их исследований и промысле. Определение происходит либо на основе опыта и знаний ЛПР, или с использованием технологий OLAP и Data mining на основе уже имеющихся у ЛПР БД/ БЗ.

2. Задание списка источников (интернет-магазины, сайты производителей, собственные БД) коммерческих предложений программного и аппаратного обеспечения.

3. Задание предварительных условий отбора программного и аппаратного обеспечения – например, название фирмы-производителя, типа RAID- контроллера для обеспечения резервирования дисковых накопителей, вида интерфейса подключения дисковых накопителей - SATA, SATA RAID Edition, SAS Near Line и SAS Enterprise, типа операционной системы (UNIX/не UNIX-подобная, проприетарная или открытая) и т.п.

4. Автоматический отбор с помощью технологии REST API из списка, полученного на втором шаге, названий аппаратного и программного обеспечения и его характеристик.

5. Создание графа предварительной структуры, проектируемой АСППР (рисунок 10).

6. Расчет веса каждого ребра графа в виде интегральных показателей характеристик элементов структуры.

7. Запуск модифицированного алгоритма Форда-Фалкерсона для решения задачи нахождения максимального потока в транспортной сети (графе).

8. Анализ результатов работы модифицированного алгоритма Форда-Фалкерсона.

9. Итоговый поток в стоке меньше потока из истока? Следовательно, необходимо увеличить количество элементов структуры АСППР – количество серверов, АРМ или(и) выбрать элементы с другими характеристиками.

10. Прогноз и рекомендации, формируемые АРМ ЛПР, имеют недостаточную достоверность и (или) не приводят к достижению заданных целей при учёте этого прогноза и рекомендаций? Следовательно, необходимо увеличить или изменить набор собираемых (измеряемых) факторов и параметров среды обитания и состояния ВБР.

Предлагаемый алгоритм проектирования АСППР обеспечивает итерационный, гибкий подход к построению системы в зависимости от масштабов поставленных задач перед системой и результатов её функционирования (прежде всего шаги 9 и 10).

В четвертой главе описаны созданные автоматизированные рабочие места АСППР для всех операций технологических процессов научных исследований и промысла, необходимых для формирования рекомендаций и решений, а именно: ввод, хранение, обработка, анализ данных и формирование решений. Один из вариантов созданного интерфейса АРМ эксперта представлен на рисунке 12. Внешний вид интерфейса может меняться в зависимости от выбранных пользователем настроек (возможно изменение цвета составных частей, расположения и размера меню и диалоговых окон программных модулей). Такой подход к формированию интерфейса выбран с учетом опыта эксплуатации и критериев эргономичности интерфейса (скорости работы и обучения пользователя, его субъективной удовлетворённости и вероятности ошибочных действий).

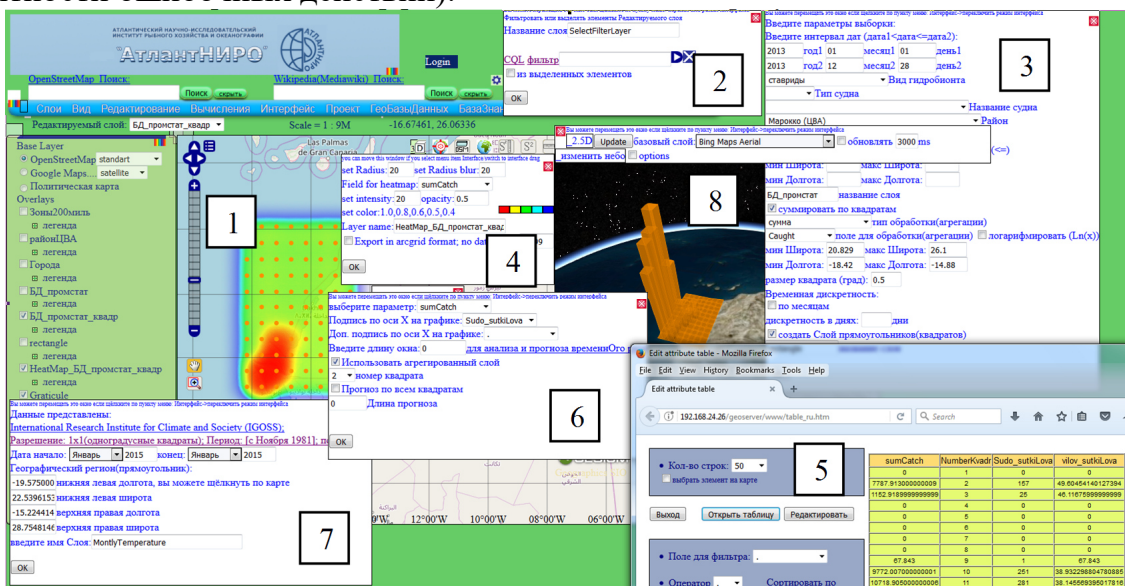


Рисунок 12 - Интерфейс взаимодействия ЛПР и АСППР (АРМ ЛПР, эксперта)

Эксперт, ЛПР, использующие АСППР, имеют перед собой экран, на который в интерактивном режиме выводится вся необходимая для них информация: исходные данные, результаты анализа, прогноз при различных параметрах настройки блоков системы. Эксперт должен ответить на соответствующие вопросы системы для автоматической корректировки БЗ: прогноз и результаты анализа достоверны, необходимо ли уточнить, изменить настройки математического метода анализа или прогноза? При этом система дает ответы на вопросы эксперта или ЛПР среди которых: текущее состояние ВБР и промысла, время и место изменения распределения ВБР и соответственно промысловой обстановки.

Некоторые составные части интерфейса АРМ эксперта, представленные на рисунке 12, обозначены следующим образом: 1 - интерактивная географическая карта, 2 - инструмент для фильтрации данных, 3 - блок для выборки данных промысловой статистики из БД, 4 - блок ввода параметров интерполяции, 5 - таблицы данных, с которыми работает эксперт, 6 - блок для задания параметров анализа и прогнозирования временных рядов, 7 - блок для выборки абиотических данных из БД, например температуры поверхности океана, 8 - блок 3D картирования. Предусмотрено добавление новых источников информации и их просмотр на одном окне - например, данных об абиотических параметрах в анализируемом районе, в том числе информации гидрометеорологических сайтов сети Интернет.

Представлена реализация АСППР на данном этапе её развития. Разработана методика внедрения и использования АСППР в научных исследованиях и промысле водных биоресурсов. Показаны результаты работы АСППР. В сети Интернет реализована онлайн-версия картографического модуля АСППР под названием OpenWebGIS, который доступен по url:http://opengis.dlinkddns.com/gis/opengis_ru.html. OpenWebGIS не имеет доступа к серверам, БД и БЗ АтлантНИРО, обладает ограниченной функциональностью, но позволяет получить общее представление о ГИС в составе разработанной АСППР.

Экономические расчеты показали, что при внедрении АСППР в рыбопромысловых организациях система может быстро окупиться в связи с повышением скорости и точности определения локализации промысловых скоплений, определения качества выработанной конечной продукции с точки зрения пищевой промышленности. Система создаёт предпосылки для экономии времени и трудозатрат во время научных исследования водных биоресурсов, так как автоматизированы функции, сбора, обработки хранения и агрегации больших объёмов информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В ходе исследования получены следующие основные результаты:

1. На основе анализа технологических процессов научных исследований водных биоресурсов и их промысла, как объекта автоматизации, выявлены недостатки и проблемы существующих методик сбора, обработки и анализа промыслово-биологической, гидрологической и гидробиологической информации во время исследований и промысла водных биоресурсов. Установлена необходимость повышения уровня автоматизации операций, выделенных в этих процессах.
2. Разработана структурно-функциональная модель АСППР. Основой для разработки являлась созданная структурно-функциональная модель технологических процессов научных исследований водных биоресурсов и их промысла, позволяющая выявить взаимосвязь между ними, провести формализацию составляющих операций.

3. Обоснована целесообразность разработки автоматизированной системы поддержки принятия решений в научных исследованиях водных биоресурсов и их промысле на основе комплексного использования разнородных данных пространственно-временного мониторинга и совмещения математического и когнитивного подходов для анализа количественных и качественных (экспертных) данных, а также сингулярного спектрального, интеллектуального (Data mining) и многомерного (технология OLAP) анализа данных.
4. Разработана АСППР, предназначенная для помощи ЛПР в обобщении, анализе информации и выработке решений задач в исследованиях и промысле ВБР. Эти задачи с точки зрения системного анализа являются слабоструктурированными, потому что они описываются как количественными, так и качественными факторами, и параметрами составляющих элементов. Принятие решений в таких системах основывается на когнитивном моделировании, которое применяется для повышения эффективности управления в сложных системах. Такой является система: “промысел”-“ВБР”-“среда обитания ВБР”. Созданная методика построения когнитивных моделей взаимодействия биотических и абиотических факторов служит инструментом поддержки принятия решений по управлению процессами научных исследований водных биоресурсов и их промысла.
5. Разработана методика анализа временных рядов промыслово-биологических и абиотических данных с использованием сингулярного спектрального анализа/прогноза и географической информационной системы, автоматизирована процедура использования данной методики. Она может выступать в качестве дополнения к общепринятым методам прогнозирования уловов и распределения ВБР. Методика обладает преимуществами при прогнозировании нерегулярных, нестационарных временных рядов, имеющих место в статистических наблюдениях за объектами лова. Её реализация в рамках АСППР позволяет обеспечить высокую интерактивность в процессе работы алгоритма анализа и прогноза промысловой обстановки.
6. Разработано программное обеспечение АСППР для ввода, обработки и анализа результатов пространственно-временного мониторинга с использованием баз данных и знаний, с целью формирования рекомендаций по планированию этапов промысла и исследований ВБР и среды их обитания. Применение такого ПО увеличивает скорость обмена информацией между участниками промысла и научных исследований ВБР, снижает временные и трудовые затраты на анализ и прогноз соответствующей информации.
7. Разработан проект технической структуры и алгоритм проектирования АСППР для организаций, занимающихся промыслом и исследованиями ВБР, с учетом особенностей их функционирования и доступности данных пространственно-временного мониторинга. В качестве его основы предложен модифицированный алгоритм Форда-Фалкерсона для нахождения максимального потока в сети. Алгоритм позволяет оптимизировать выбор программно-аппаратного обеспечения АСППР и связей между его компонентами, автоматизирует выявление избыточных и не соответствующих по характеристикам элементов, и помогает определить достаточное количество выбранных серверов БД, АРМ или другого аппаратного и программного обеспечения.
8. Разработана методика внедрения и использования АСППР в научных исследованиях и промысле водных биоресурсов. Показана эффективность разработанной АСППР и опыта использования реализованных модулей системы.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Харенко Е.Н., Котенев Б.Н., Сопина А.В., Рой В.И., Сердобинцев С.П., Коломейко Ф.В. Многофакторный анализ выхода икры минтая Охотского моря // Рыбное хозяйство. - 2007. - №4. - С.106-112.
2. Коломейко Ф.В. Система автоматизированного мониторинга объектов и условий рыбопромыслового лова // Известия КГТУ. - 2008. - №13. - С. 122-126.
3. Сердобинцев С.П., Коломейко Ф.В. Применение информационных технологий в прогнозировании распределения объектов рыбопромыслового лова // Информационные технологии. - 2009. - №3. - С. 82-85.
4. Сыгова М.В., Харенко Е. Н., Коломейко Ф.В., Сердобинцев С.П. Создание информационного обеспечения системы прослеживаемости при производстве продукции из осетровых рыб // Рыбное хозяйство. - 2012. - №6. - С. 88-91.
5. Пак Р.А., Коломейко Ф.В., Архипов А.Г. Использование современных геоинформационных технологий в исследованиях ранних стадий развития промысловых рыб северной части Центрально-Восточной Атлантики // Известия КГТУ. - 2016. - №42. - С.39-48.
6. Коломейко Ф.В., Васильев А.Г. Программно-информационное обеспечение исследований водных биоресурсов в Атлантике // "Труды ВНИРО". - 2018. - Т. 174. - С.81-89.

Свидетельства о государственной регистрации программ и баз данных для ЭВМ

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008611381 Российская Федерация. ПромГИС-Атлант / Лукацкий В.Б., Коломейко Ф.В., Маслянкин Г.Е., Смольянинова Е.А.; правообладатель - ФГУП «АтлантНИРО». (РФ) – №2008610395; поступл. 05.02.2008; зарегистр. 19.03.2008. - 1с.
8. Свидетельство о государственной регистрации базы данных для ЭВМ № 2008620156 Российская Федерация. ПромБД-Атлант / Лукацкий В.Б., Бутович Я.Ф., Коломейко Ф.В.; правообладатель - ФГУП «АтлантНИРО». (РФ) - №2008620022; поступл. 05.02.2008; зарегистр. 04.04.2008. - 1с.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016660553 Российская Федерация. Информационно-справочная система АтлантНИРО / Коломейко Ф.В., Перевертнюк М. В., Бутович Я. Ф., Щукина Е.В.; правообладатель - ФГБНУ «АтлантНИРО». (РФ) - №2016617847; поступл. 18.07.2016; зарегистр. 16.09.2016. - 1с.

Публикации в других отечественных и зарубежных изданиях

10. Коломейко Ф.В., Зуев А.В., Чур В.Н. К вопросу о принципах построения и функционирования информационно-справочной системы АтлантНИРО // Материалы IX Всероссийской конференции по проблемам рыбопромыслового прогнозирования. - Мурманск. - 2004. - С. 227-228.
11. Коломейко Ф. В.Зуев А.В., Чур В.Н., Е.В. Щукина К вопросу о разработке информационно-справочной системы АтлантНИРО // Материалы конференции “Математическое моделирование и информационные технологии в исследованиях биоресурсов Мирового Океана”. – Владивосток. - 2004. - С.106-107.
12. Коломейко Ф.В. Автоматизированная система использования баз данных в научных исследованиях объектов рыбопромыслового лова // Автоматизация

производственных процессов: сб. науч. тр. / КГТУ. - Калининград. - 2006. - С.31-37.

13. **Сердобинцев С.П., Коломейко Ф.В.** Использование ГИС-технологий при обработке гидробиологической и океанологической информации // Международная конференция “Инновации в науке и образовании 2006”. - Калининград, КГТУ. - 2006. - Ч. 2. - С.108-111.
14. **Серпунина Е.Г., Коломейко Ф.В., Серпунина Л.Т.** Программный пакет для качественной оценки рыбных ресурсов и их потенциального технологического использования. // Труды Международной научно-технической конференции «Наука и образование-2006». - Мурманск, МГТУ. - 2006. - С.781-785.
15. **Коломейко Ф.В., Сердобинцев С.П.** Математическое моделирование пространственно-временного распределения объектов рыбопромыслового лова // Сб. тр. международной научной конференции (МНК) ММТТ. - 20. Т. 6. - Ярославль. - 2007. - С.119-122.
16. **Коломейко Ф.В., Сердобинцев С.П.** Автоматизированная система прогнозирования пространственно-временного распределения объектов рыбопромыслового лова // Калининград: Известия КГТУ. - 2007. - N 11. - С.176-180.
17. **Nesterov A.A., Chur V.N., Kolomeyko F.V.,** Russian fishery and researches in the Southern Pacific Ocean in 1978-1991 and 2002-2003. International Seminar “Fishery of Horse mackerel in the Southern Pacific Ocean”, Fisheries Research Institute, 2007. Talcahuano. - Chile, pp. 1-21.
18. **Солдат В.Т., Коломейко Ф.В.** Возрастная структура и величина возможного вылова перуанской ставриды (*Trachurus murphyi*) в южной части тихого океана // Международная конференция “Инновации в науке и образовании 2007”. - Калининград, КГТУ. - 2007. - Ч.1. - С.42-41.
19. **Коломейко Ф.В., Щукина Е.В., Якушев М.Р.** Автоматизированная верификация базы данных по биологии кальмаров // Материалы Всероссийской конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 90-летию К.Г.Константинова. - Мурманск: ПИНРО. - 2008. - С.107-111.
20. **Soldat V.T., Kolomeiko F.V., Glubokov A.I., Nesterov A.A., Chernyshkov P.P., Timokhin E.N.** Jack mackerel (*Trachurus murphyi*) distribution peculiarities in the high seas of the south Pacific in relation to the population structure // Report of the South Pacific regional fisheries management organization Chilean jack mackerel workshop. - Santiago, Chile, 30 June – 4 July 2008. –CHJMWS/2008/7.
21. **Коломейко Ф.В.** Современные информационные технологии в исследованиях биологии и распределения криля в Антарктической части Атлантики // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2006-2007 гг. Т.2. Океанические районы: сб.науч.тр. / Калининград: АтлантНИРО. - 2009. - С.166-175.
22. **Коломейко Ф.В., Щукина Е.В., Якушев М.Р.** Программа верификации базы данных по биологическому состоянию кальмаров // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2006-2007 гг. Т.2. Океанические районы: сб.науч.тр. / Калининград: АтлантНИРО. - 2009. - С.175-183.
23. **Коломейко Ф.В., Архипов А.Г., Мамедов А.А., Архипова О.А.** Современные информационные технологии в исследованиях ихтиопланктонных сообществ Центрально-Восточной Атлантики // Тез. докл. VIII межд. конф. по раннему онтогенезу рыб и промысловых беспозвоночных. – Калининград. - 2010. - С.52-55.

24. **Коломейко Ф.В.** Система поддержки принятия решений по управлению рыбным промыслом на основе пространственно-временного мониторинга // Международная конференция “Инновации в науке и образовании 2011”. - Калининград, КГТУ. - 2011. - С.19-22.
25. **Коломейко Ф.В., Сердобинцев С.П.** Советующая система управления рыбопромысловым ловом на основе пространственно-временного мониторинга // Труды XXIV Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-24)». - Саратов. - 2011. - Т.5 - С.113-116.
26. **Коломейко Ф.В.** Промыслово-биологические базы данных в современных научных исследованиях водных биоресурсов в Атлантике и южной части Тихого океана // Труды X межд. конф. «Инновации в науке, образовании и бизнесе -2012», Ч.1 – Калининград. - 2012. - С.52-55.
27. **Коломейко Ф.В.** Географические информационные системы на основе программного обеспечения с открытым исходным кодом (open source) и базы данных в научных исследованиях водных биоресурсов // Труды науч. конф. «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоёмов». КГТУ. Калининград. - 2013. - С.69-72.
28. **Коломейко Ф.В.** Совершенствование информационного обеспечения исследований водных биоресурсов в океанических районах Мирового океана // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2010-2013 годах. Т. 2. Океанические районы: сб. науч. тр. / Атлант. НИИ рыбн.хоз-ва и океанографии. Калининград: АтлантНИРО. - 2014. - С.31-35.
29. **Нестеров А.А., Коломейко Ф.В., Чур В.Н., Назаров Н.А.** Биологические параметры ставриды (*Trachurus murphyi* Nichols, 1920) из разных частей Южной Пацифики и идентификация запаса // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2010-2013 годах. Т. 2. Океанические районы: сб. науч. тр. / Атлант. НИИ рыбн.хоз-ва и океанографии. Калининград: АтлантНИРО. - 2014. - С.113-125.
30. **Пак Р.А., Коломейко Ф.В., Архипов А.Г.** Применение современных геоинформационных технологий в исследованиях массовых видов ихтиопланктона акватории южной части Марокко// Труды науч. конф. «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоёмов». КГТУ. Калининград. - 2016. - С.48-50.
31. **Коломейко Ф.В., Сердобинцев С.П.** Системы поддержки принятия решений в рыбном хозяйстве // VI Междунар. Балтийский морской форум: материалы. - Калининград, 2018. - С.21-30 [Электронный ресурс]. URL: <http://bmf.klgtu.ru/wp-content/uploads/2018/12/TOM-6.pdf>.