

Моделирование гидроакустических полей на основе интеллектуальной геоинформационной системы¹

Аннотация. Рассматривается подход к моделированию гидроакустических полей на основе интеллектуальной геоинформационной системы (ИГИС). Обосновывается состав и структура такой специализированной ИГИС. Приводится пример практической реализации системы гидроакустических расчетов (СГР) на базе ИГИС, обладающей расширенными возможностями по сравнению с известными решениями.

Ключевые слова: интеллектуальная геоинформационная система, акустическое поле, моделирование.

Введение

Решение ряда прикладных задач морской деятельности связано с проведением гидроакустических расчетов. В основе их лежит процесс моделирования параметров гидроакустических полей, источниками которых являются различные морские объекты.

При этом гидроакустические расчеты предполагают привязку источника и приемника сигналов к географическим координатам, обусловленную уникальными значениями параметров этого поля в каждой точке области его формирования. Уникальность поля определяется, прежде всего, сложными законами влияния среды на процесс его формирования и высокой изменчивостью ее свойств в пространстве.

С учетом перечисленных особенностей организация гидроакустических расчетов предусматривает проведение комплекса вычислительных операций с геопространственными данными в заданных точках водной среды, расположенных по трассе распространения акустической энергии, и решение ряда сопутствующих задач. К таким задачам относятся:

- осуществление привязки к географическим координатам точки, характеризующей местоположения источника гидроакустического поля;

- обеспечение доступа к геопространственным данным среды: к гидрологическим параметрам как функциям пространственных координат и времени, рельефу и геоакустическим характеристикам дна, характеристикам поверхности моря;

- реализация методов прогнозирования параметров среды и процедур их аппроксимации для обеспечения заданной дискретности исходных данных моделирования;

- организация интеллектуальной поддержки вычислительного процесса, обеспечивающая комплексирование методов расчета гидроакустического поля и варьирование вычислительных ресурсов в зависимости от набора исходных данных и требуемой оперативности проведения расчетов;

- обеспечение привязки к географическим координатам результатов гидроакустических расчетов.

Анализ известных подходов к решению этих задач [1–3, 13, 14] свидетельствует, что они обладают низкой интеллектуальностью в части моделирования гидроакустических полей в реальном масштабе времени.

Предлагается новый подход к моделированию гидроакустических полей на основе специальной интеллектуальной геоинформационной системы.

¹ Исследование частично поддержано Программой фундаментальных исследований Президиума РАН № 17 «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология»

1. Постановка задачи

Заданы общие требования к системе гидроакустических расчетов. Известны методы реализации этих расчетов [1–3, 13] и источники исходной геоинформации. Установлены возможности существующих геоинформационных систем (ГИС), которые могут быть использованы в интересах обеспечения этих расчетов. В частности эти ГИС позволяют осуществлять [4]:

- формирование исходных данных моделирования;
- привязку к географическим координатам точки местоположения источника гидроакустического поля;
- доступ к базам геопространственных данных параметров среды, определяющих параметры акустического поля;
- контроль процесса моделирования;
- вывод результатов моделирования в удобной для пользователя форме.

Кроме этих возможностей перспективная система гидроакустических расчетов должна предусматривать:

- визуальную разработку, хранение классов и объектов на основе единой онтологии, описывающей предметную область — гидроакустику (для обеспечения необходимых гидроакустических расчетов);

- прогнозирование параметров среды и их аппроксимацию для обеспечения заданной дискретности исходных данных моделирования;

- интеллектуальную поддержку вычислительного процесса, осуществляемую совокупностью методов расчета акустического поля и варьированием вычислительных ресурсов в зависимости от набора исходных данных и заданной оперативности проведения расчетов.

Необходимо разработать архитектуру интеллектуальной геоинформационной системы, ориентированной на моделирование гидроакустических полей, и усовершенствовать ее технологию.

2. Структура специализированной интеллектуальной ГИС

Приведем во внимание функции, возлагаемые на перспективную систему гидроакустических расчетов, а также достигнутые результаты в области интеграции ГИС и технологий искусственного интеллекта [5–7]. С учетом их для обеспечения моделирования гидроакустических полей предлагается интеллектуальная геоинформационная система (ИГИС) со следующей структурой (Рис. 1). Такая ИГИС представляет собой совокупность традиционных геоинформационных технологий и экспертной системы. Она построена на основе архитектуры OGIS

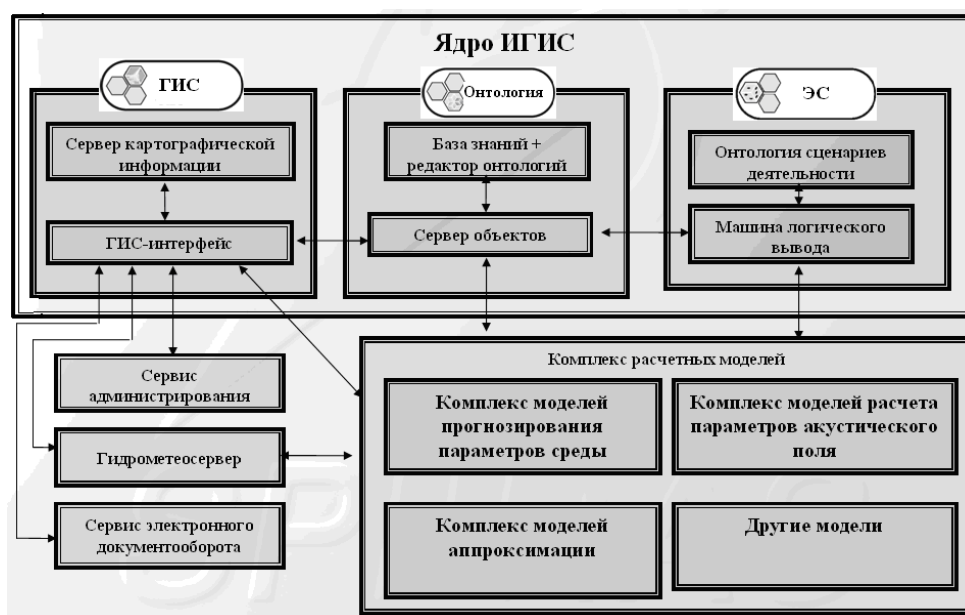


Рис. 1. Структура интеллектуальной ГИС

(Open Geodata Interoperability Specification) [8]. Основными элементами ИГИС являются:

- ГИС–интерфейс. Служит для взаимодействия пользователя с системой и интеграции составных частей ИГИС для обеспечения функциональности системы;
- база знаний. Включает онтологию, описывающую сущности предметной области и отношения между ними. Второй частью базы знаний является совокупность объектов (сервер–объектов), представляющих реальные сущности предметной области;
- экспертная система. Включает в себя онтологию сценариев деятельности, позволяющую пользователям использовать гибкие инструменты формирования логических правил управления вычислительным процессом при проведении расчетов, и машину логического вывода, предназначенную для непосредственного управления моделированием в процессе выполнения расчетов;
- сервер картографической информации. Предназначен для визуализации картографических данных, работы с картографическими данными в едином координатном пространстве;
- сервис администрирования. Обеспечивает распределение ресурсов, управление доступом пользователей, настройками системы и протоколирование работы;
- гидрометеосервер. Используется для приема оперативной гидрометеорологической информации, ее декодирования и представления пользователю в процессе проведения расчетов;
- сервис электронного документооборота. Обеспечивает формирование отчетов и обмен отчетами между удаленными пользователями;
- комплекс расчетных моделей. Предназначен для прогнозирования и аппроксимации параметров среды, реализации алгоритмов расчета акустического поля, аппроксимации выходных данных моделирования, а также реализации других расчетных алгоритмов.

ИГИС с такой структурой наиболее полно удовлетворяет требованиям по взаимодействию с различными хранилищами географических данных и обеспечению доступа к сервисам их обработки. Интеграция традиционной ГИС и средств интеллектуальной поддержки обеспечивает не только точность и оперативность расчетов, но и масштабируемость самой системы, адаптивность к входным параметрам среды и требованиям потребителя.

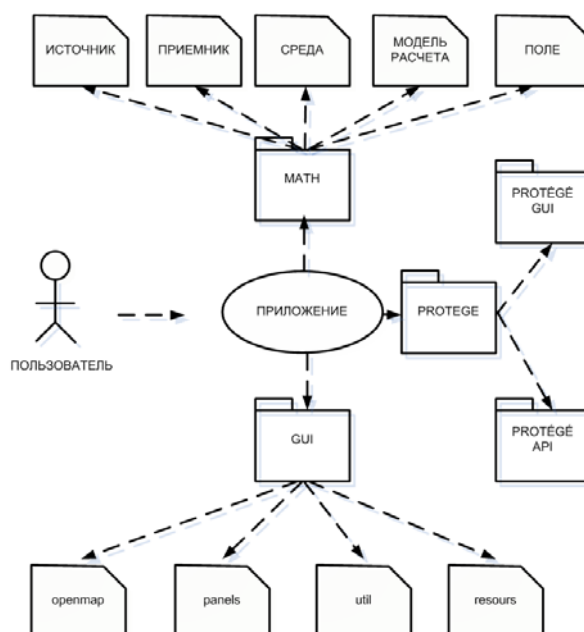


Рис. 2. Диаграмма классов системы гидроакустических расчетов

3. Онтология предметной области

В ИГИС в качестве основных базовых классов объектов, используемых при моделировании акустического поля, выделяются:

- гидроакустическое поле;
- источник гидроакустического поля;
- приемник гидроакустического поля;
- морская среда;
- математическая модель расчета гидроакустического поля.

Обобщенная структура классов, используемых при расчете параметров гидроакустического поля, приведена на Рис. 2.

Структура классов включает пакеты: MATH, GUI [9], PROTEGE [10].

Пакет MATH содержит классы, отражающие физическую сущность процесса моделирования гидроакустического поля объекта.

Класс «Источник» характеризует источник акустического сигнала. Его основными свойствами являются: тип (точечный или антенна), тип излучаемого сигнала (гармонический или широкополосный), глубина расположения, рабочая частота излучения сигнала или диапазон излучаемой полосы частот, мощность излучения, размер излучающей антенны (в случае если источник является антенной).

Класс «Приемник» соответствует приемнику акустического сигнала и характеризуется свойствами: тип (точечный или антенна), глубина расположения, размер приемной антенны (в случае если приемник является антенной).

Класс «Среда» отражает водное пространство, ограниченное поверхностью и дном, в котором происходит формирование акустического поля. Основными свойствами класса являются: вид (однородная среда, слоисто-неоднородная среда, двумерно-неоднородная среда), гидролого-акустические характеристики среды (зависимость скорости звука от глубины по трассе распространения акустической энергии, коэффициент пространственного затухания, характеристики взволнованной поверхности (высота волны)), рельеф дна (зависимость глубины моря от координат) и его геоакустические характеристики (распределение скорости продольных и сдвиговых волн, коэффициент поглощения в донных осадках).

Класс «Модель расчета» характеризует метод, применяемый для расчета акустического поля (волновой, лучевое приближение, метод ВКБ и т.д.).

Пакет GUI содержит реализацию основных управляющих классов проекта, а также ряд сервисных классов, в частности:

- класс *openmap* (включает реализацию событий, необходимых для представления на электронной карте пользовательского слоя, который используется для нанесения на карту источника и приемника гидроакустических сигналов и результатов гидроакустических расчетов);
- класс *panels* (предусматривает реализацию всех элементов пользовательского интерфейса, а также реализацию интерфейсных элементов, обеспечивающих представление в виде графиков результатов моделирования);
- класс *resource* (содержит ресурсные строки, обеспечивающие отображение и интернационализацию интерфейсных элементов, имеющих текстовое представление);
- *util* (включает сервисные методы, обеспечивающие вывод сообщений пользователю, форматирование вещественного представления чисел в строковое, формирование отчетов, форматирование расположения интерфейсных компонентов и т.д.).

Пакет PROTEGE содержит пакеты классов PROTEGE GUI и PROTEGE API, обеспечиваю-

щих интеллектуальную поддержку процесса моделирования на основе сценарного подхода.

4. Интеллектуальная поддержка гидроакустических расчетов

Для решения задачи интеллектуальной поддержки управления расчетами предлагается использовать возможности экспертной системы. Она представляет собой ориентированную на правила систему, предназначенную для обработки знаний, хранящихся в базе знаний. Описания правил хранятся в базе знаний, как часть описания предметной области.

Экспертная система состоит из двух основных частей. Первая часть — это система сценариев, а вторая часть — это машина логического вывода, реализующая логику предикатов первого порядка. С помощью системы сценариев, на основе знаний экспертов или предварительного моделирования гидроакустического поля формируется логика расчета поля. Машина логического вывода интерпретирует и реализует разработанную в виде сценария логику моделирования.

Сценарий реализует логику моделирования на трех уровнях:

- на уровне выбора рациональной модели расчета акустического поля;
- на уровне пошаговой оптимизации вычислительного процесса при проведении вычислений по заданной трассе распространения акустической энергии;
- на уровне оптимизации вычислений параметров гидроакустического поля трасс, примыкающих по азимуту к направлению ранее рассчитанной трассы.

Пошаговая оптимизация вычислительного процесса заключается в выборе техники расчета параметров акустического поля на текущем шаге по результатам вычислений на предыдущем шаге и с учетом анализа аппроксимированных на текущем шаге исходных данных среды. С помощью такого подхода с одной стороны повышается оперативность решения задач из-за пропуска незначимых точек расчета, а с другой стороны — точность вычислений из-за корректного использования математических методов. Кроме пошаговой оптимизации по заданной трассе, обеспечивается оптимизация расчета соседних трасс или пространственных каналов.

Оперативность вычислений параметров акустического поля может быть значительно увеличена за счет организации параллельных вычислений.

Иными словами, предполагается выполнение двух и более процессов одновременно, которые будут использоваться третьим объектом–клиентом в произвольном порядке. Поэтому, в целях повышения производительности системы, предлагается применять механизм, позволяющий:

- проводить вычисления асинхронно по отношению к другим вычислительным потокам, которые используют результат;
- оповещать объект, использующий асинхронное вычисление;
- инкапсулировать вычисление таким образом, чтобы его клиенты не знали, является ли оно синхронным или асинхронным.

Исходя из этих требований, в качестве среды выполнения параллельных вычислений предлагается использовать сервер Application Server JBoss в кластерной конфигурации. С учетом указанных условий распараллеливание в системе гидроакустических расчетов может быть осуществлено следующим образом:

- система гидроакустических расчетов выполняется по технологии Enterprise JavaBeans (EJB) [11] на основе сервера приложений JBoss, который имеет кластерную конфигурацию;
- расчетная часть (расчет затухания для одного направления) реализована в виде Session Stateless Bean, который является разделяемым ресурсом кластера;
- асинхронный вызов Session Stateless Bean, содержащий расчет, выполненный с использованием расширения AS JBoss для осуществления асинхронных вызовов Asynchronous проху.

В настоящее время параллельные вычисления используются в целях повышения оперативности вычисления параметров гидроакустического поля по заданному количеству азимутальных направлений. При этом применяемый механизм распараллеливания обеспечивает расчет параметров поля по каждому направлению с использованием идентичных экземпляров программного кода, который на входе получает различные исходные данные, что соответствует модели программирования Single Programm Multiple Datas. При этом время для выполнения расчета по одному из направлений распространения акустической энергии

практически всегда отличается менее чем на 30% по сравнению с другими направлениями. Соответственно, при условии применения многопроцессорной кластерной системы можно ожидать, что время расчета акустического поля по всем азимутальным направлениям будет соизмеримо со временем расчета одного направления на стандартном персональном компьютере.

5. Пример реализации системы гидроакустических расчетов на основе ИГИС

На Рис. 3 приведен пример геоинформационного интерфейса, обеспечивающего проведение различных видов гидроакустических расчетов. Элементы интерфейса пользователя обеспечивают интуитивно понятный процесс взаимодействия пользователя с системой на всех этапах проведения расчетов. В частности, пользователь может выбрать для проведения расчетов любой район Мирового океана и достаточно просто, по заданным координатам или с помощью курсора нанести место положения источника (И) и приемника (П) акустической энергии. При этом отображается трасса распространения акустической энергии в виде отрезка, соединяющего источник и приемник.

С помощью закладок «Район» – «Условия расчета» пользователю предоставляется возможность доступа к геопространственным данным, характеризующим свойства среды и параметрам источника и приемника акустической энергии. Пользователь может проанализировать эти данные, изменить шаг их ввода в блок вычислений и произвести, при необходимости, их правку. Организация процесса вычислений осуществляется с помощью экранной формы, выбираемой с помощью закладки «Условия расчетов». В частности, пользователю предоставляется возможность доступа к визуальным компонентам экспертной системы (Рис. 4), с помощью которых обеспечивается сценарный подход в интересах автоматизации процесса выбора модели расчета гидроакустического поля.

Результаты вычислений выводятся в виде удобном для пользователя (Рис. 5). При расчетах дальности действия гидроакустических средств имеется возможность вывода интегральной характеристики обнаружителя, зоны его обнаружения в горизонтальной плоскости.

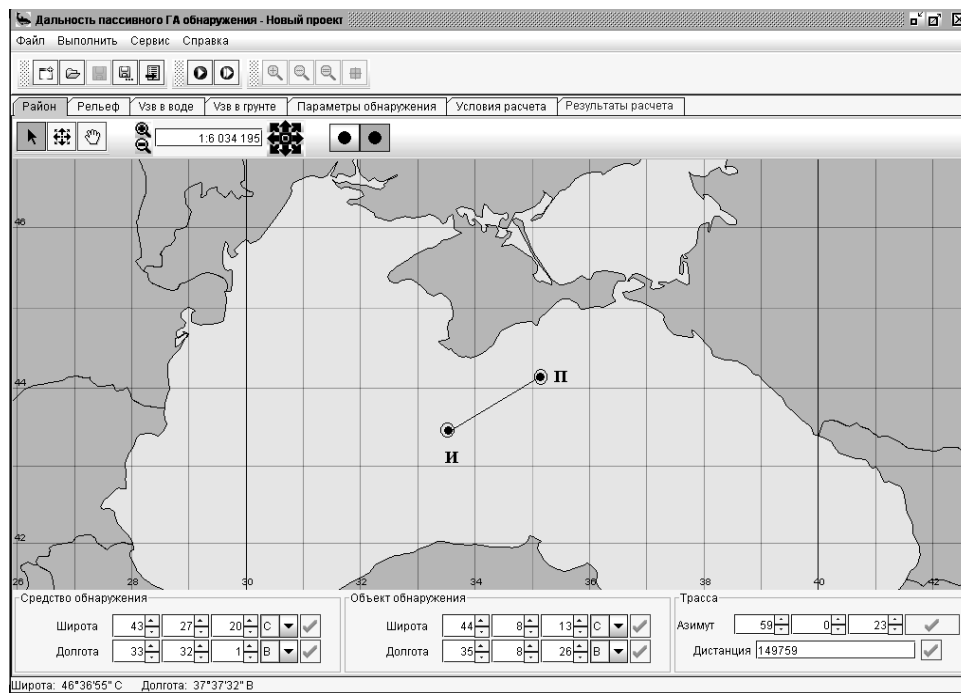


Рис. 3. Геоинформационный интерфейс системы гидроакустических расчетов

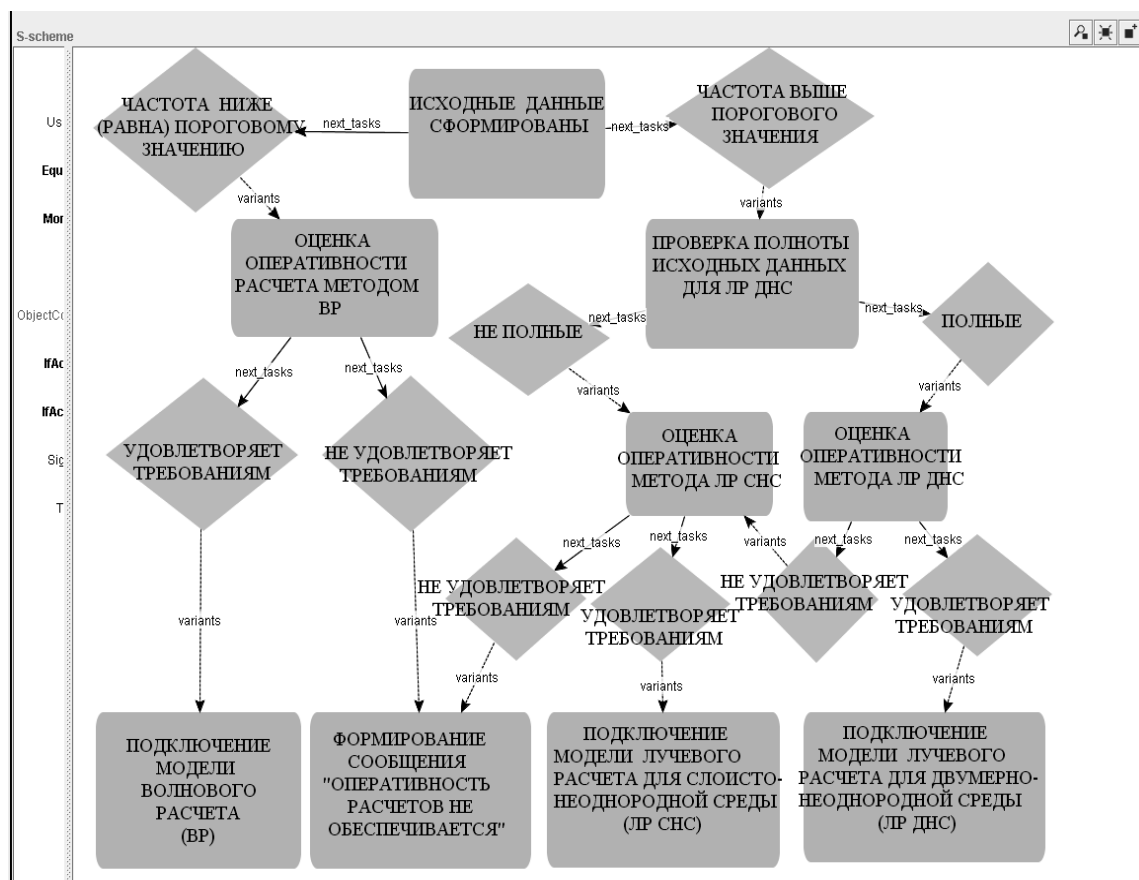


Рис. 4. Визуальные компоненты экспертной системы

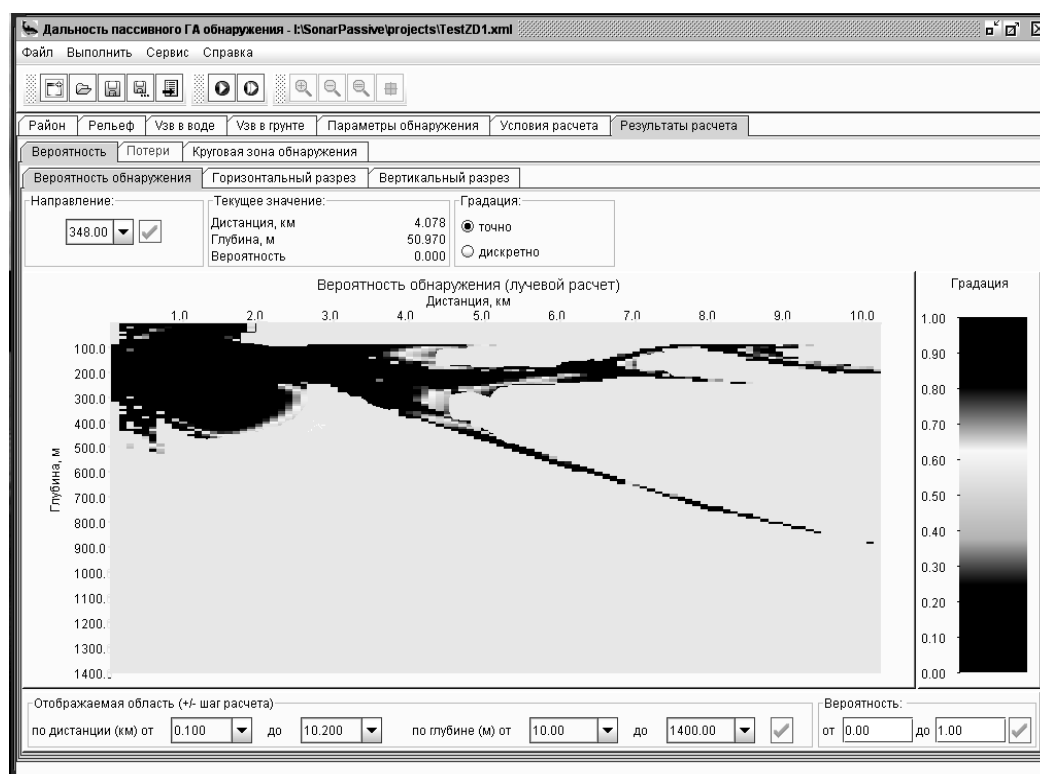


Рис. 5. Визуальные компоненты экспертной системы

Закключение

В работе показана целесообразность и основные направления использования интеллектуальных геоинформационных систем для проведения гидроакустических расчетов. Реализация возможностей геоинформационного интерфейса, сервис-ориентированной архитектуры (SOA), использование ЭС для гибкого изменения алгоритмов управления расчетами, использование программных продуктов с открытым кодом позволяет достаточно просто наращивать и модернизировать систему, достигая заданных требований к оперативности и точности результатов.

Подобные системы могут быть легко адаптированы к конкретному району моря или океана с учетом анализа данных натурных измерений и должны найти широкое применение в системах мониторинга водной среды различного назначения.

Дальнейшими направлениями развития систем гидроакустических расчетов на основе ИГИС являются:

- трехмерное представление результатов моделирования;

- решение задачи расчета параметров акустического поля в условиях двумерно-неоднородной среды в масштабе времени, близком к реальному;
- моделирование акустических полей, формируемых двумя и более источниками.

Литература

1. Зарайский В.А. Акустика океана. — СПб: ВМА, 2003.
2. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. — М.: Наука, 1973.
3. Aviloff C.V. An effective numerical solution of guided wave equations, Journal de Physique IV, Colloque C1, Supplement au Journal de Physique III, volume 3, C.V. Aviloff. An effective numerical solution of guided wave equations, Journal de Physique IV, Colloque C1, Supplement au Journal de Physique III, volume 3, April 1992, p. C1-1023, April 1992.
4. Баранов Ю.Б. и др. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. — М.: ГИС-Ассоциация, 1999.
5. Lam D.C., Swayne D.A., Mayfield C.I., Cowan D.D. Integration of GIS with other Software Systems. Proceedings of the Third International Conference / Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis, 1996.

6. Sandhu R., Treleaven P. Intelligent Geographical Information Systems. GISRUK'95 (working notes), Newcastle upon Tyne, England, UK, 1995.
7. Paliulionis V. Architecture of an Intelligent GIS. Institute of Mathematics and Informatics, Vilnius, Lithuania.
8. Buehler K., McKee L. The OpenGIS Guide. Introduction to Interoperable Geoprocessing and the OpenGIS Specification. OGS Technical Committee of the Open GIS Consortium, Wayland, MA, 1998.
9. Owen D. Java Geography for the Smart Mob, Part 1: OpenMap, O'Reilly On Java. com March 6, 2003.
10. Knublauch H. An AI Tool for the Real World. Knowledge Modeling with Protégé, JavaWorld com., 06/20/03.
11. Popovich V.V., Potapichev S.N., Sorokin R.P., Pan-kin A.V. Intelligent GIS for Monitoring Systems Development. CORP 2005 & Geomultimedia05, 2005.
12. Zarskiy V.A., Popovich V.V., Yusupov R.M. Multi Agents Approach for Underwater Sound Equations Solution // Proceedings of the Sixth International Conference on Theoretical and Computational Acoustics "ICTCA", Honolulu, Hawaii, August 11-15, 2003.
13. Авилов К.В. Псевдодифференциальные параболические уравнения распространения звука в океане, плавно неоднородном по горизонтали, и их численное решение. Акус.журн., т. 41, вып.1, 1995, с 5–12.
14. Collins M.B., Cederberg R.J., King D.B. and Ching-Bing S.A. Comparison of algorithms for solving parabolic wave equations. J. Acoust. Soc. Am., v. 100, no. 1, July 1996, p.178-182.
15. Baxley P.A., Bucker H. and Porter M.B. Comparison of beam tracing algorithms // Proceeding of the 5th European Conference on Underwater Acoustics ECUA 2000, p.27.
16. Ocean Data View, a multiple-variable graphical analysis and display package for oceanographic station data [http://odv.awi-bremerhaven.de/data.html].

Попович Василий Васильевич. Заместитель директора по научной работе Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН, заведующий лабораторией Объектно-ориентированных геоинформационных систем. Окончил Высшее военно-морское училище имени А.С. Попова, 1980, Военно-морскую академию имени Н.Г. Кузнецова, 1990. Доктор технических наук, профессор. Главный конструктор ряда опытно-конструкторских работ. Автор учебника, монографии, двух учебных пособий и более 100 научных статей и докладов. Область интересов: интеллектуальные геоинформационные системы, объектно-ориентированное моделирование, теория поиска.

Ермолаев Виктор Иванович. Старший научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. Окончил Высшее военно-морское училище имени А.С. Попова, 1976, Военно-морскую академию имени Н.Г. Кузнецова, 1986. Кандидат технических наук, доцент. Автор более 50 научных работ. Область интересов: гидроакустика, имитационное моделирование.

Леонтьев Юрий Борисович. Старший научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. Окончил Высшее военно-морское училище имени А.С. Попова, 1990, Военно-морскую академию имени Н.Г. Кузнецова, 1999. Кандидат технических наук. Автор более 30 научных и учебно-методических работ. Область интересов: объектно-ориентированное моделирование, информационные технологии.

Смирнова Оксана Вячеславовна. Старший научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. Окончила Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций в 2002 году. Кандидат технических наук. Имеет более 25 научных и учебно-методических работ. Область научных интересов: многокритериальная оптимизация, интеллектуальные системы, геоинформационные системы.