

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ МОРСКОГО ДНА



Ю. А. Ершов, студент 2-го курса магистратуры
E-mail: ershovyu@rambler.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Т. В. Снытникова, канд. техн. наук, научный руководитель
E-mail: tatyana.snytnikova@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В статье рассматривается разработка программной системы хранения и управления данными, полученными в результате гидрографических съемок с использованием многолучевого эхолота. Описаны цели и задачи проектирования, выбор архитектуры, программные и технологические решения. Система ориентирована на организацию хранения больших массивов гидроакустических данных и предоставляет интерфейсы для навигации, поиска и каталогизации файлов. Акцент сделан на использовании открытых технологий и расширяемости системы.

Ключевые слова: многолучевой эхолот, геоинформация, автоматизация, хранение данных, СУБД, PostgreSQL, языки программирования, Python.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность задач, связанных с анализом морского дна, обусловлена широким спектром практических применений: от судоходства и морской инженерии до экологического мониторинга и ресурсной разведки. Многолучевой эхолот (МЭ) стал ключевым инструментом для сбора высокоточных батиметрических и акустических данных. Однако их объем и разнообразие создают значительную нагрузку на системы хранения и анализа [1].

Традиционные подходы к обработке данных МЭ опираются на коммерческое программное обеспечение, обладающее рядом ограничений: закрытый исходный код, высокая стоимость и слабая адаптивность к специфике конкретных исследований. Это стимулирует разработку открытых и модульных решений, способных обеспечить гибкое хранение, структурированную обработку и возможность интеграции с алгоритмами машинного обучения.

Объект исследования. Объектом исследования является система хранения и управления данными, полученными при использовании многолучевого эхолота в ходе морских гидрографических съемок. Особое внимание уделяется организации структурированного хранения, привязке файлов к метаданным (время, координаты, тип данных, судно, рейс), а также обеспечению удобного доступа к информации для последующего анализа.

Цель исследования – разработка программной системы, обеспечивающей эффективное хранение, структурирование и управление большими объемами данных, формируемых в результате работы многолучевого эхолота.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- провести анализ требований к хранению гидроакустических данных;

- выбрать оптимальные технологии и инструменты разработки, включая системы управления базами данных и средства обработки пространственной информации;
- спроектировать структуру базы данных с учетом специфики файлов многолучевого эхолота;
- реализовать программный модуль загрузки и регистрации данных в базе;
- обеспечить возможность фильтрации, поиска и просмотра информации по различным критериям;
- предусмотреть расширяемость системы для будущей интеграции с аналитическими и визуализирующими компонентами.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании использовались следующие методы:

- **системный анализ** – для формализации требований и выявления особенностей хранения эхолотных данных;
- **методы проектирования баз данных** – при построении логической и физической схемы хранения информации;
- **технологии геоинформационных систем (ГИС)** – для работы с координатами, границами съемок и пространственными запросами [2];
- **инструменты программной инженерии** – при разработке ETL-процесса (загрузки и структурирования данных), включая Python, pycopg2, PostGIS;
- **тестирование на реальных данных** – для оценки корректности работы системы и устойчивости архитектурных решений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ требований к хранению гидроакустических данных

Проведено изучение наиболее известных программных решений (QPS Qimera, CARIS NIPS and SIPS, MB-System) а также ПО, поставляемое в комплекте с эхолотом компаниями Kongsberg и Teledyne [3, 4, 5]. Особое внимание было уделено деятельности Калининградского филиала Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН и почему нынешнее решение им не подходит [6]. Был произведен разбор различных форматов файлов, получаемых при работе многолучевых эхолотов (.all, .pds, .sub, .xml, .dtm), особенностей их структуры, типичных сценариев использования данных в гидрографических проектах и ограничений традиционных подходов к хранению в виде каталогов и вручную формируемых таблиц. Также было проведено исследование как международных, так и российских стандартов качества гидрографических данных. На рисунке 1 представлена диаграмма типового процесса получения файлов с данными многолучевого эхолота. Этот процесс является универсальным и практически не зависит от конкретного производителя оборудования, что упрощает интеграцию различных форматов в систему хранения.

Кроме технических аспектов, важным фактором проектирования системы является соответствие международным стандартам качества гидрографических данных. Международный гидрографический стандарт **ИГО S-44** (International Hydrographic Organization) определяет требования к точности, плотности и достоверности батиметрических измерений для различных уровней съемки (Order 1a, Special Order и др.) [7]. Также широко применяется стандарт **ISO 19115**, описывающий метаданные пространственных данных [8].

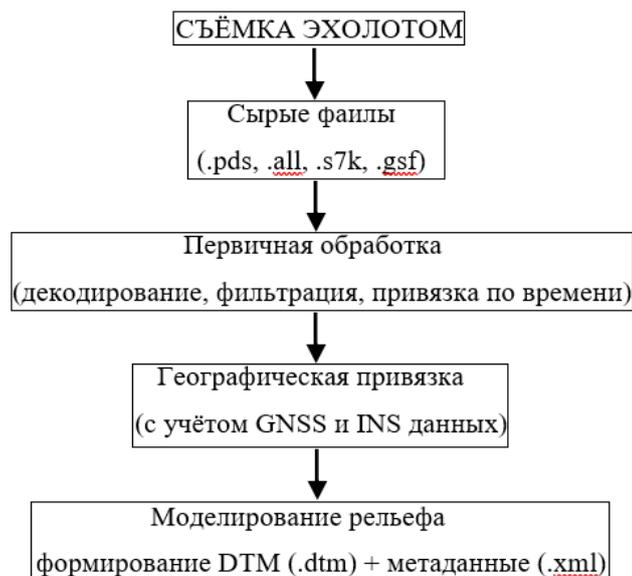


Рисунок 1 – Диаграмма взаимосвязи форматов и этапов обработки

В российской практике к нормативной базе можно отнести **Приказ Минобороны России № 665**, регламентирующий требования к гидрографическим и топографическим материалам, а также спецификации к данным, используемым при создании морских навигационных карт [9].

Выбор технологий и инструментов

В качестве основы системы выбрана СУБД PostgreSQL с расширением PostGIS для пространственных данных [10, 11]. Использование открытых технологий обусловлено не только экономическими причинами, но и соответствием принципам современной научной деятельности – прозрачности, воспроизводимости и возможности коллективной разработки.

В качестве основного языка реализации выбран Python – интерпретируемый высокоуровневый язык программирования, широко используемый в научной и инженерной среде [12]. Его популярность обусловлена читаемостью, лаконичным синтаксисом и обширной библиотечной экосистемой. В рамках проекта он будет использоваться для обработки файлов различных форматов (.pds, .xml, .dtm, .sub), организации асинхронного ввода-вывода, визуализации и взаимодействия с базой данных [13].

Проектирование структуры базы данных

Для построения системы хранения и обработки данных, поступающих с многолучевого эхолота, разработана специализированная база данных на платформе PostgreSQL. Ее архитектура ориентирована на поддержку полного жизненного цикла данных: от их получения с внешнего носителя до обработки и анализа, включая контроль связей между сущностями и автоматическое обновление информации.

Разработка структуры велась с учетом ключевых требований: обеспечение автоматизированной загрузки, возможность последующего расширения, сохранение связности между файлами, а также простота интеграции с внешними инструментами анализа и визуализации. Концептуально база организована вокруг центральной сущности – **диска** как носителя данных, на который опираются все остальные компоненты. В базу данных включены пять ключевых таблиц: disks, raw_files, file_lists, dtm_files и interpreted_files.

Между таблицами реализована устойчивая логическая структура, обеспечивающая прослеживаемость данных на всех этапах:

- Один диск (disks) может содержать множество исходных файлов (raw_files) и файлов-листов (file_lists), к которым он привязан через внешние ключи.

- Файллист (file_lists) может объединять несколько .pds-файлов, связь с которыми отображается в таблице raw_files через поле belongs_to.

- Результирующие .dtm-файлы, хранящиеся в dtm_files, ссылаются на файллисты, послужившие их основанием, и связаны с носителями данных через имя диска.

На рисунке 2 представлена полностью готовая структура базы данных, построенная в СУБД PostgreSQL.

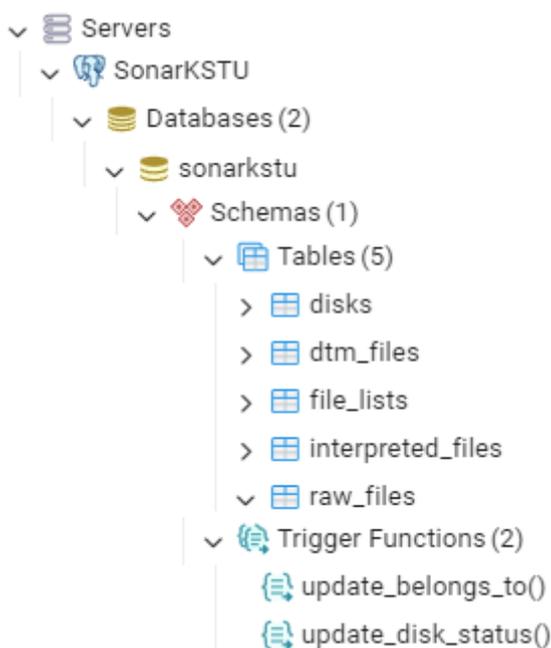


Рисунок 2 – Структура базы данных

Реализация программного модуля загрузки

Создан программный инструмент на Python, обеспечивающий автоматическую регистрацию новых данных в базе. Модуль выполняет анализ структуры директорий, извлечение метаданных, проверку целостности и запись информации в соответствующие таблицы. Также реализована система логирования и уведомлений об ошибках. Полная схема процесса работы программного инструмента представлена на рисунке 3.

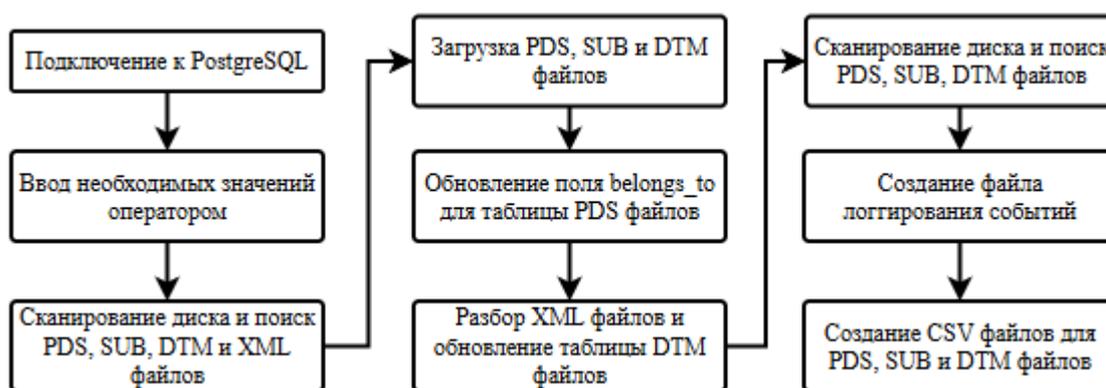


Рисунок 3 – Сводная схема процесса загрузки данных

- **Реализован модуль автоматической загрузки данных**, который позволяет пользователю указать путь к каталогу с данными рейса. Система самостоятельно анализирует структуру каталогов, находит необходимые файлы, извлекает из них метаинформацию (например, принадлежность .pds к .sub), определяет рейс и проект и записывает соответ-

ствующую информацию в базу данных. При этом реализованы функции обработки нестандартных ситуаций: пропусков, дубликатов и ошибок.

- **Поддержка фильтрации и поиска данных.** Система обеспечивает возможность выборки информации по различным параметрам: наименование проекта, тип файла, судно, временной интервал, статус обработки и др. Это позволяет специалистам оперативно находить нужные фрагменты данных для последующего анализа.

- **Обеспечено отслеживание статуса обработки каждого файла.** Система автоматически устанавливает статус на основании наличия связанных данных: «не обработан», «полуобработан», «интерпретирован». Это позволяет специалистам видеть текущий прогресс по каждому рейсу и быстро идентифицировать участки, требующие внимания.

- **Добавлена поддержка логирования действий.** Все изменения фиксируются в системе с возможностью восстановления информации о действиях пользователя и истории обработки. Это позволило отслеживать ход выполнения загрузки, диагностировать причины сбоев, анализировать повторяющиеся ошибки и формировать отчеты для сопровождения системы. На рисунке 4 представлен фрагмент логирования событий в файле sonar_data_loader, который появляется в той же директории, что и разработанный программный инструмент.

```
2025-04-19 16:56:53,842 [INFO] \U0001f4be Диск 1 добавлен в БД с ID 1
2025-04-19 16:56:53,842 [INFO] Директории в D:\\ABP48:
2025-04-19 16:56:53,843 [INFO] - PDSProject
2025-04-19 16:56:53,843 [INFO] \u2705 Найдена директория проектов: D:\\ABP48\\PDSProject
2025-04-19 16:56:53,843 [INFO] \U0001f31f Обработка проекта: HAT_FishPort_Project
2025-04-19 16:56:53,843 [INFO] \U0001f50d Поиск и добавление PDS файлов для диска 1 в проекте HAT_FishPort_Project...
2025-04-19 16:56:53,844 [INFO] \U0001f4ca Найдено 4 PDS файлов, из них 0 уже в базе
2025-04-19 16:56:53,852 [INFO] \u2705 Добавлено 4 новых PDS файлов, обновлено 0 существующих
2025-04-19 16:56:53,852 [INFO] \U0001f50d Поиск и добавление DTM файлов в проекте HAT_FishPort_Project...
2025-04-19 16:56:53,853 [INFO] \U0001f4ca Найдено 1 DTM файлов
2025-04-19 16:56:53,854 [INFO] \u2705 XML найден и распарсен для ABP56_UTM34N_FS_1m.dtm
2025-04-19 16:56:53,856 [INFO] \u2705 DTM ABP56_UTM34N_FS_1m.dtm добавлен в БД с XML-данными: True
2025-04-19 16:56:53,856 [INFO] \U0001f4c2 Обработка файлиста ABP56_UTM34N_FS.sub в проекте HAT_FishPort_Project
```

Рисунок 4 – Фрагмент логирования событий

- **Произведено тестирование на реальных данных,** полученных в ходе гидрографических экспедиций. Система была успешно применена для обработки и структурирования десятков тысяч файлов, показав высокую стабильность, удобство использования и существенное сокращение времени на начальную организацию данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные гидрографические исследования морского дна сопровождаются генерацией огромного объема данных, получаемых в ходе работы многолучевых эхолотов. Эти данные включают как бинарные файлы, содержащие измерения глубин, так и вспомогательные метаданные – временные метки, идентификаторы судов, информацию о рейсах и проектных задачах. Традиционные подходы к хранению и обработке таких данных в виде файловых архивов не обеспечивают должной систематизации, прозрачности и удобства доступа, что существенно затрудняет анализ и повторное использование результатов съемок.

В рамках данного исследования была достигнута поставленная цель – разработана программная система, обеспечивающая эффективное хранение, структурирование и управление большими объемами данных, формируемых в результате работы многолучевого эхолота. Система спроектирована с учетом специфики гидроакустических данных, особенностей их форматов и потребностей конечных пользователей в гибком доступе к информации.

Таким образом, разработанная система доказала свою эффективность в решении задач, связанных с хранением, управлением и подготовкой к дальнейшей обработке гидроакустических данных. В отличие от ручной работы с файлами и каталогами, система обеспечивает строгую структуру, автоматизацию и масштабируемость, что делает ее перспективной платформой для расширения функционала и интеграции с аналитическими и картографическими модулями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Multibeam echosounders // NOAA Office of Coast Survey [Электронный ресурс]. – URL: <https://nauticalcharts.noaa.gov/updates/multibeam-echosounders/> (дата обращения: 13.05.2025).
2. Геоинформационные технологии: учебник / под ред. И. В. Кудрявцева. – Москва: Академия, 2019. – 352 с.
3. QPS Qimera – Multibeam Data Processing Software [Электронный ресурс]. – URL: <https://qps.nl/qimera/> (дата обращения: 13.05.2025).
4. Teledyne CARIS – HIPS and SIPS [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.teledynecaris.com/en/products/hips-and-sips/> (дата обращения: 13.05.2025).
5. MB-System – Open Source Software for Multibeam Sonar Data Processing [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.oshydro.org/projects/mbsystem.html> (дата обращения: 13.05.2025).
6. Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН. Калининградский филиал [Электронный ресурс]. – URL: <https://atlantic.ocean.ru/index.php/issledovaniya/gosudarstvennoe-zadanie> (дата обращения: 13.05.2025).
7. International Hydrographic Organization. IHO Standards for Hydrographic Surveys. – Edition 5. – Monaco: IHO, 2008. – 34 p. [Электронный ресурс]. – URL: https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-44/S-44_5E.pdf (дата обращения: 13.05.2025).
8. ISO 19115-1:2014. Geographic information – Metadata – Part 1: Fundamentals. – Geneva: ISO, 2014. – 120 p. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.iso.org/standard/53798.html> (дата обращения: 13.05.2025).
9. Приказ Министра обороны РФ от 10 декабря 2020 г. № 665 «Об установлении Требований к государственным морским навигационным картам, включая требования к их картографической основе, к используемым системам координат, высот и к составу навигационной информации, содержащейся в указанных государственных навигационных картах» [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/400802517/> (дата обращения: 13.05.2025).
10. PostgreSQL documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата обращения: 13.05.2025).
11. Psycopg – PostgreSQL adapter for Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.psycopg.org/docs/> (дата обращения: 13.05.2025).
12. Lee W.-J. Echotype: A Python library for interoperable and scalable processing of water column sonar data for biological information / W.-J. Lee, E. Mayorga, L. Setiawan, V. Staneva // *arXiv preprint*. – 2021. – arXiv:2111.00187 [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/2111.00187> (дата обращения: 13.05.2025).
13. Generic Sensor Format (GSF) // Wikipedia [Электронный ресурс]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Generic_sensor_format (дата обращения: 13.05.2025).

DEVELOPMENT OF A DATA STORAGE AND MANAGEMENT SYSTEM FOR MULTI-BEAM ECHO-SOUNDER DATA FOR SEABED MAPPING

Y. A. Ershov, 2nd year Master degree student
E-mail: ershovyu@rambler.ru
Kaliningrad State Technical University

T. V. Snytnikova, PhD, Associate professor
E-mail: tatyana.snytnikova@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

The article discusses the development of a software system for storing and managing data obtained from hydrographic surveys using a multi-beam echo sounder. The design goals and objec-

tives, architectural choices, software and technological solutions are described. The system is focused on organizing the storage of large volumes of hydroacoustic data and provides interfaces for navigation, search, and file cataloging. The emphasis is laid on the use of open technologies and the system's extensibility.

Keywords: *multi-beam echo sounder, geoinformation, automation, data storage, DBMS, PostgreSQL, programming languages, Python.*