

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРАБОТКИ АРХИВНЫХ ГИДРОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

О. В. Лахно^{1,2}, И. М. Анисимов², В. О. Муравья^{1,2}, А. А. Пронин²

¹ *Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)
Россия, 141701, Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9,
e-mail: lakhno.o@phystech.edu;*

² *Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36*

Настоящая статья посвящена процессу обработки архивных гидролокационных данных для исследований морского дна, который ведется в Институте океанологии им. П. П. Ширшова РАН (ИО РАН) уже на протяжении 50 лет. В работе подробно описывается алгоритм работы конвертера, позволяющего преобразовать данные из архивного формата ИО РАН WINRASTR в современный стандартный формат XTF. Это преобразование необходимо для унификации формата накопленных данных, что обеспечивает их более эффективную обработку и анализ. В статье также рассматривается алгоритм построения гидролокационных мозаик, которые являются одним из наиболее удобных способов представления больших объемов данных съемки поверхности дна. Данная работа направлена на повышение качества исследований морского дна и оптимизацию работы с архивными данными.

Ключевые слова: гидролокационные исследования, архивирование гидролокационной информации, конвертация, обработка данных, гидролокационная мозаика

Введение

Разработка технологии гидролокационных исследований поверхности дна ведется в Институте океанологии им. П. П. Ширшова РАН (ИО РАН) с 1970-х гг. Область ее применения включает в себя геологические исследования, исследования мезорельефа дна на мелководье и на больших глубинах (Римский-Корсаков, 2019), исследования состояния подводных технических сооружений и потенциально опасных объектов (ППОО), а также поисковые работы. Использование гидролокаторов бокового обзора (ГБО) позволяет получать изображения поверхности дна с высокой производительностью в полосе от десятков метров (высокочастотная гидролокация) до единиц километров (низкочастотная гидролокация) (Фирсов, 2010). В общемировой практике ГБО могут как устанавливаться на сложные буксируемые системы, так и производиться в виде отдельных устройств. В своих разработках ИО РАН следовал по этому же пути и на разных этапах развития технологий создавались и передовые на то время крупногабаритные комплексные системы, оснащенные телевизионными

и акустическими датчиками (Звук–Комплекс, Звук–МАФТ) (Римский-Корсаков и др., 2023), а также малогабаритные буксируемые ГБО («Мезоскан», «Микросаунд», «Сифокс») (Римский-Корсаков, 2017). До начала 1990-х гг. регистрация данных ГБО производилась аналоговым способом с использованием термопечати. С развитием персональных электронных вычислительных машин (ПЭВМ) была разработана технология записи данных ГБО в цифровом виде (Руссак, 1998). С этой целью в ИО РАН был создан собственный формат гидролокационных данных, а также программное обеспечение (ПО) WINRASTR для их обработки (Римский-Корсаков, 2020). Формат данных ГБО, разработанный в ИО РАН, претерпевал изменения по мере его использования и выявления недостатков. В результате в период с 1990-х по конец 2010-х гг. был получен обширный массив цифровых гидролокационных записей из различных районов Мирового океана, который, ввиду эволюции формата, обладал существенной неоднородностью внутренней структуры. Это не являлось критичной проблемой для решения текущих задач, таких, как обработка данных, полученных в одной или нескольких экспедициях, однако впоследствии комплексный анализ общего массива данных оказался затруднен.

Глобальное развитие гидролокационных технологий привело как к появлению нескольких общепринятых форматов записи данных ГБО, так и к универсальным методам их обработки. Многолетний опыт мировых производителей ГБО (Tritech Solutions Великобритания; Klein Marine Systems, Teledyne Technologies, США) позволил разработать несколько распространенных и надежных форматов записи данных ГБО. В 1998 г. в компании Triton Imaging (США) был создан формат eXtended Triton Format (XTF) (XTF file..., 2025), который позволял объединять в себе гидролокационные данные, данные батиметрии и многолучевого эхолотирования. Структура формата XTF оказалась наиболее удачной, и формат постепенно был включен во все известные пакеты ПО для обработки гидролокационных данных. Формат и по сей день активно расширяется добавлением новых поддерживаемых устройств, однако базовая структура его остается неизменной, что позволяет одинаково обрабатывать как более старые, так и современные данные. Ввиду широких возможностей для работы с этим форматом, начиная с 2018 г., в ходе модернизации существующих ГБО ИО РАН и разработки новых устройств, было принято решение осуществлять запись данных в формате XTF (Римский-Корсаков, 2019). Таким образом, к массиву архивных гидролокационных съемок в формате для ПО WINRASTR добавилась существенная часть новых данных в современном формате.

Одним из наиболее удобных представлений гидролокационной информации, в особенности когда речь идет об исследованиях на больших площадях морского дна, является выкладка изображений на планшет в географических координатах (построение мозаики). В случае поисковых работ построение мозаики позволяет произвести локализацию обнаруженных объектов и определить их ориентацию в пространстве с целью планирования дальнейших работ по их обследованию и идентификации с помощью телевизионных средств или водолазных визуальных наблюдений (Анисимов и др., 2023). Среди наиболее долго существующих на мировом рынке компаний, разрабатывающих

ПО для выкладки гидролокационных съемок в географических координатах, можно выделить HURACK (HURACK..., 2025) и Sonarwiz (Chesapeake Technology, 2025) (США), позволяющие производить фильтрацию шумов, коррекцию изображений на скорость движения носителя ГБО и наклонную дальность, а также выполнять построение мозаики в режиме реального времени в ходе записи. Являясь лидерами в своей категории, данные пакеты распространяются по достаточно высокой стоимости. ПО других производителей (например, Sonar TRX, США (SonarTRX Introduction, 2025), и SeaView Mosaic, Италия (Moga Software, 2025)) менее распространено, однако стоимость их также высока. Для исследовательских групп использование вышеуказанного ПО может быть затруднительно по техническим, политическим или финансовым причинам. Согласно открытым источникам, единственной полноценной свободно распространяемой альтернативой таким пакетам является ПО MB-System (США) (MB-System, 2025). Оно спроектировано для операционной системы (ОС) Linux, что может являться затруднением для исследователей, ведущих свои работы с использованием ОС Windows. Существует также свободно распространяемое ПО DeepView (DeepVision, Швеция) (DeepVision, 2025), однако его функционал ограничивается просмотром данных и базовыми измерениями по изображениям. Таким образом, актуальным остается вопрос о создании собственных инструментов, позволяющих производить обработку гидролокационных данных и построение мозаик.

Построение мозаик на базе накопленного в ИО РАН объема гидролокационных данных открывает широкие возможности для изучения мезомасштабных структур рельефа поверхности дна, анализа выполненных исследований по поиску ППО и дальнейшему их планированию. Необходимость реализации этой задачи обусловлена в том числе развитием геоинформационных систем (ГИС), которые предоставляют удобный инструментарий для анализа многолетних рядов данных, имеющих географическую привязку. В ряде организаций, в том числе в ИО РАН, ведется развитие своих собственных ГИС (Запотьлько и др., 2024) для создания внутренней базы данных проведенных исследований. Интеграция гидролокационных мозаик в ГИС позволяет структурировать их по районам исследования, годам и пр., а также выполнять линейные и площадные измерения для численной параметризации.

Таким образом, целью представленной работы является создание программного комплекса для приведения многолетних гидролокационных данных к единому формату и представления в виде набора мозаик, в том числе с целью дальнейшей интеграции в геоинформационные системы.

Материалы и методы исследования

Обозначенная цель требовала решения нескольких задач, в соответствии с которыми структурирована работа. Первая задача заключается в разработке ПО, позволяющего конвертировать гидролокационную информацию, собранную в файлы оригинального формата разработки ИО РАН, в файлы формата XTF.

Вторая задача заключается в создании ПО для представления данных в формате XTF в виде мозаики с координатной привязкой. Наконец, третьей задачей является проверка работы созданного программного комплекса, для чего использованы данные, полученные в ходе многолетних исследований в районе Новоземельской впадины (Карское море).

Программа преобразования формата WINRASTR в формат XTF

Разработанная в Лаборатории гидролокации дна ИО РАН технология гидролокационной съемки дна включает гидроакустические антенны, ГБО и акустические профилографы (АП), приемо-передающие электронные блоки, аналого-цифровые модули и ПЭВМ – «РАСТР-РС», ПО для сбора, отображения и накопления информации «РАСТР», а также ПО для подготовки информации для анализа в среде специализированного ПО WINRASTR (Римский-Корсаков, 2020). ПО WINRASTR позволяет осуществлять обработку данных, включая получение равномасштабных гидролокационных изображений и координатную привязку отдельных точек изображения (без построения мозаики) с использованием прямоугольной системы координат (Римский-Корсаков, 2017). Формат данных ГБО для WINRASTR представляет собой набор отдельных файлов, отвечающих каждый за свой блок информации: файл с расширением LFT – данные левого борта ГБО, RGT – данные правого борта ГБО и N_V – навигационные данные.

Файлы гидролокационных данных записаны в двоичном виде и обладают одинаковой структурой, а принадлежность к левому или правому каналу ГБО определяется расширением LFT и RGT соответственно. В структуре файла можно выделить несколько ключевых блоков: «Заголовок файла» (FileHeader), который содержит базовую информацию о файле, включая название устройства, файла и комментарии оператора ГБО, если это необходимо; «Заголовок данных» (BlockHeader), в котором представлены данные о текущих параметрах записи, таких как время начала блока данных, количество строк в блоке, соответствующее количеству зондирующих импульсов, частота дискретизации принимаемого эхо-сигнала; «Данные» (Block_lines), которые представляют собой сами данные гидролокатора и набор строк эхо-сигнала по правому и левому борту ГБО, в соответствии с количеством зондирующих импульсов, указанным в заголовке. Количество таких блоков в этой структуре зависит от продолжительности записи файла. Навигационный файл N_V содержит информацию о координатах местоположения судна во время движения по маршруту съемки в привязке к единому времени. Одним из преимуществ такой записи является то, что этот файл находится отдельно, и привязка к единому времени может быть осуществлена вручную с использованием независимо полученных или отфильтрованных в стороннем ПО данных о траектории движения буксируемого тела или судна-носителя.

Структура файлов XTF в некоторых аспектах схожа со структурой файлов WINRASTR, однако она сложнее за счет объема информации, который возможно

записать в рамках одного файла XTF. Каждый файл начинается с записи заголовка файла, за которой следует один или несколько пакетов данных. В отличие от файлов WINRASTR, в XTF хранятся данные левого и правого каналов, а также навигационные данные. На рисунке 1 схематически изображены структуры обоих форматов.

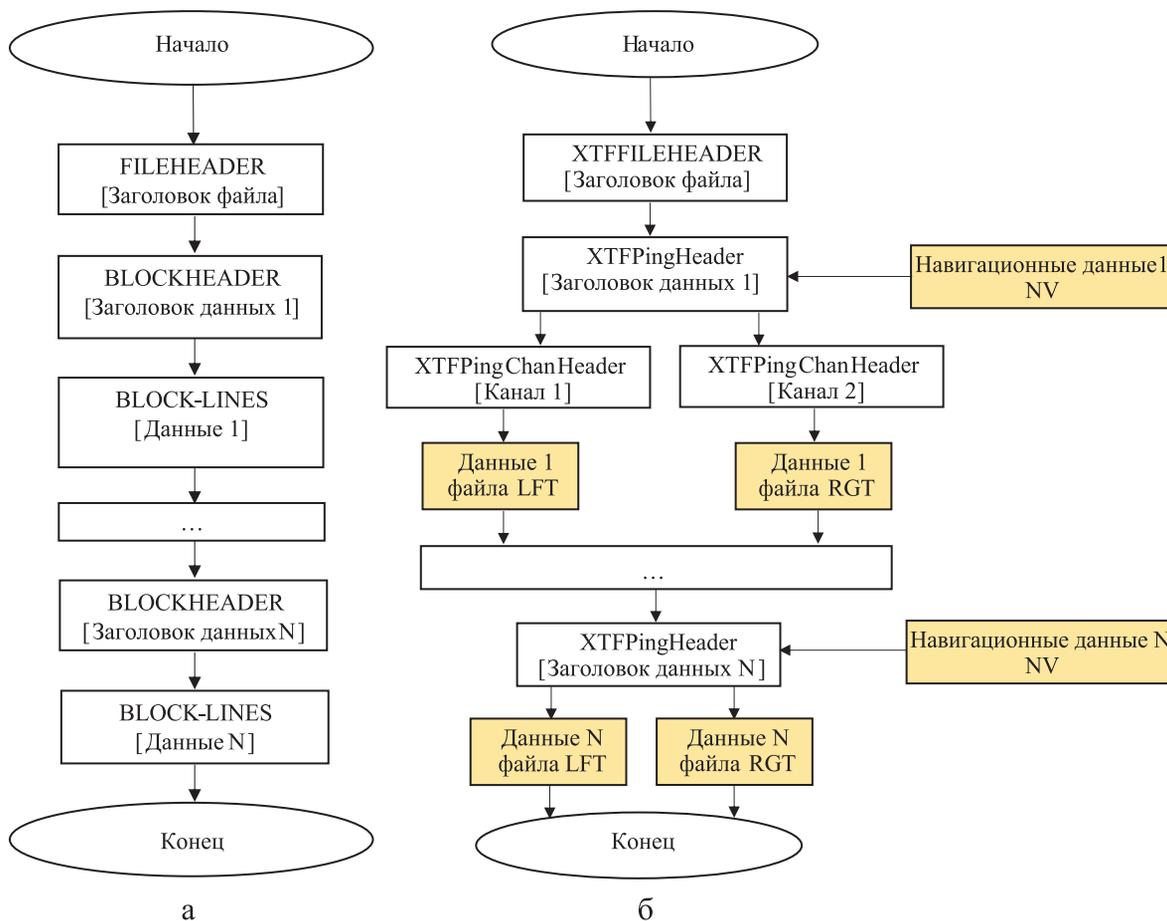


Рис. 1 – Блок-схемы структур рассматриваемых двоичных файлов:
а) формат WINRASTR (один канал); б) формат XTF. Цветом выделены области структуры, в которые производится копирование информации из файлов формата WINRASTR

Для реализации преобразования файлов была разработана программа-преобразователь файлов на языке Python. Для работы с файлами XTF была использована специализированная библиотека PyXTF (<https://github.com/oysstu/pyxtf>). Алгоритм работы преобразования одного пакета данных, состоящего из файлов WINRASTR, в формат XTF приведен на рисунке 2.

В данной программе реализован процесс обработки данных с двух каналов навигационной информации с последующей записью в файл формата XTF. В файлах XTF данные ГБО разделены на строки, соответствующие эхосигналам одного зондирующего импульса – пинга. Каждому пингу соответствуют два канала данных – с левого и правого борта.

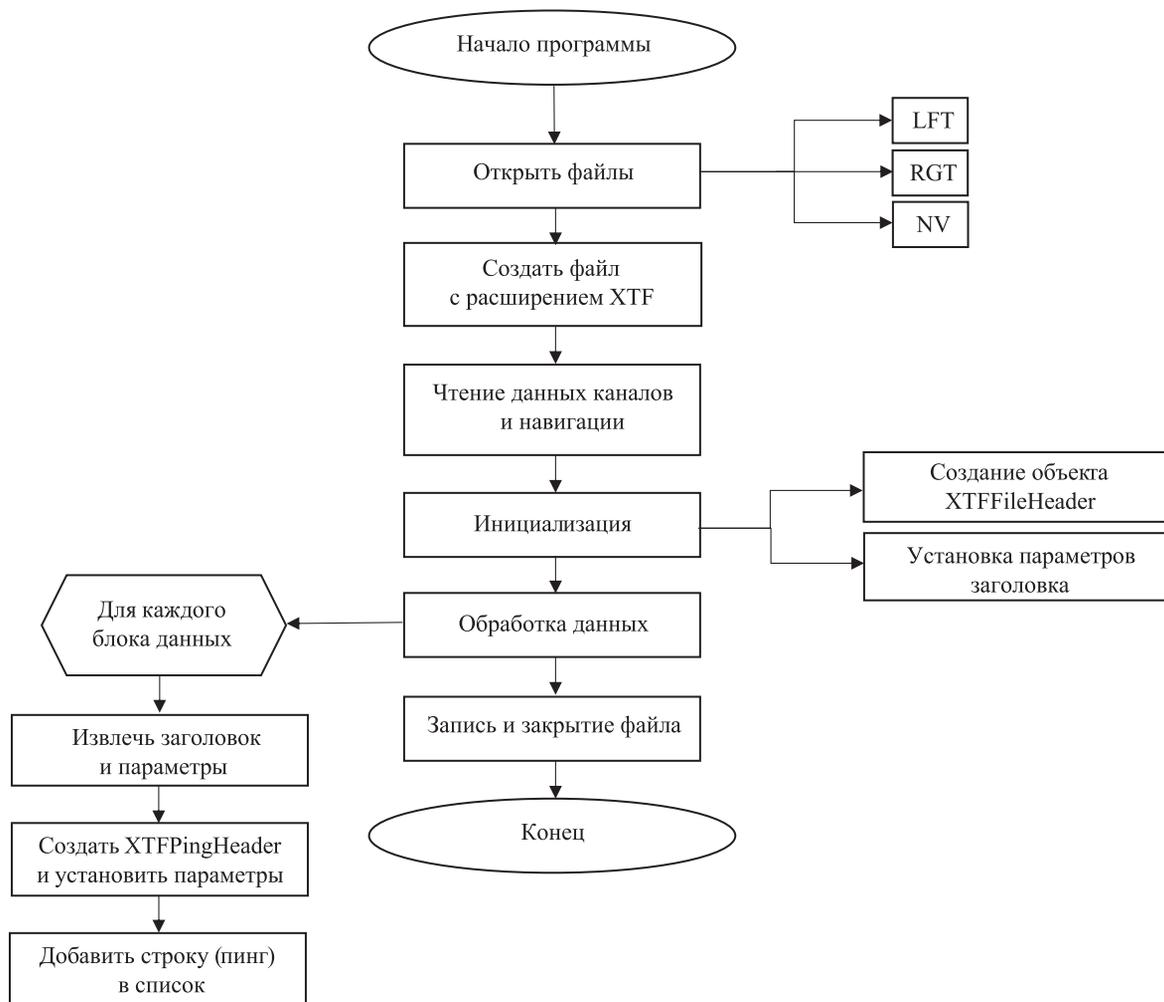


Рис. 2 – Блок-схема последовательности действий, выполняемых в программе для преобразования РАСТР формата в XTF

В формате WINRASTR навигационные данные хранятся в отдельном файле с расширением N_V. Координаты в файле хранятся в виде пары значений (широта, долгота), каждой точке соответствует временная метка. Дискретность записи в файл N_V составляет 2 с. Для записи координат в файл XTF проводится сопоставление временных меток данных навигационного файла и файлов данных ГБО. В файлах LFT и RGT из каждого заголовка можно извлечь данные о количестве строк в данном блоке гидролокационной посылки и временной привязке к ее началу. В свою очередь в файлах XTF у каждой строки (пинга) есть свой заголовок XTFPingHeader, содержащий координатную и временную привязки. Процесс распределения данных N_V по данным канала включает в себя сопоставление временных меток навигационных данных с временными метками начала блоков, их дублирование согласно количеству строк в блоке, а затем использование линейной интерполяции для получения промежуточных значений координат. Интерполированные значения записываются в заголовок «XTFPingHeader», соответствующий каждой новой строке гидролокационных данных.

Завершает процесс запись всех обработанных данных в выходной файл, после чего файл закрывается.

Программа создания гидролокационной мозаики

Гидролокационная мозаика представляет собой изображение в сетке географических координат, на котором справа и слева вдоль траектории движения судна или буксируемого носителя ГБО отложены модулированные по яркости строки. Процесс построения гидролокационной мозаики может включать в себя сглаживание траектории движения, коррекцию на скорость движения и наклонную дальность (создание равномасштабного изображения), фильтрацию шума, коррекцию усиления и выравнивание яркости (Cervenka, 1993).

Программа была реализована с использованием языка программирования Python. Авторы преследовали цель реализовать базовый функционал, а именно сглаживание траектории движения судна и корректировку яркости. Алгоритмически процесс построения мозаики для каждого файла ХТФ включает в себя несколько этапов:

1. Производится считывание траектории движения судна, содержащейся в файле ХТФ (рисунок 3а). Траектория представлена парами географических координат (широта и долгота) в глобальной геодезической системе стандарта 1984 г. (World Geodetic System 1984, WGS84) (Kumar, 1988) (рисунок 3б). Система WGS84 характеризуется переменным масштабом: длина одного градуса долготы (расстояние вдоль меридиана) изменяется в зависимости от широты, в то время как длина градуса широты остается почти постоянной. Для выкладки мозаики предпочтительнее использовать прямоугольные системы координат, обеспечивающие равный масштаб по осям X и Y и более простую функцию расчета ориентации строки данных относительно траектории.

2. Выполняется преобразование траектории движения судна из геодезических координат (WGS84) в плоскую прямоугольную систему координат (рисунок 3в). Конкретная проекция выбирается в соответствии с географическим положением района работ. Для российской Арктики, где проведено большое количество съемок ГБО ИО РАН, работа с данными целесообразна в картографической системе координат 1942 г. (ГК-42) (Юркина, 2001), разделенной на 6-градусные зоны по долготе. Методика преобразования систем координат изложена в межгосударственном стандарте ГОСТ 32453-103 и реализована во многих программных пакетах. В данной работе была использована библиотека Ruproj (Ruproj..., 2025).

3. Вычисляется размер изображения, на котором будет сформирована мозаика. Для этого задается масштаб (пиксель/метр), и на его основе, а также на основе текущего диапазона дальности ГБО, вычисляются границы мозаики. Точке начала координат изображения ставится в соответствие точка в системе GK-42.

4. Выполняется выкладка строк сонограммы ГБО на плоскость изображения вдоль траектории движения судна с предварительной коррекцией траектории на расстояние от судна до буксируемого носителя ГБО. Строки расположены таким образом, что каждая строка перпендикулярна направлению траектории движения носителя

ГБО в соответствующей точке. Последовательность строк формирует результирующую гидролокационную мозаику (рисунок 3г).

5. По вычисленным заранее границам изображения производится геопроецирование (привязка к географическим координатам), после чего изображение записывается на диск в формате GeoTiff (Ritter, 1997). Данный формат является одним из стандартных для работ с географическими растровыми данными и позволяет интегрировать изображение во все известные ГИС.

Процесс повторяется для каждого файла ХТФ, формируя набор геопроецированных изображений.

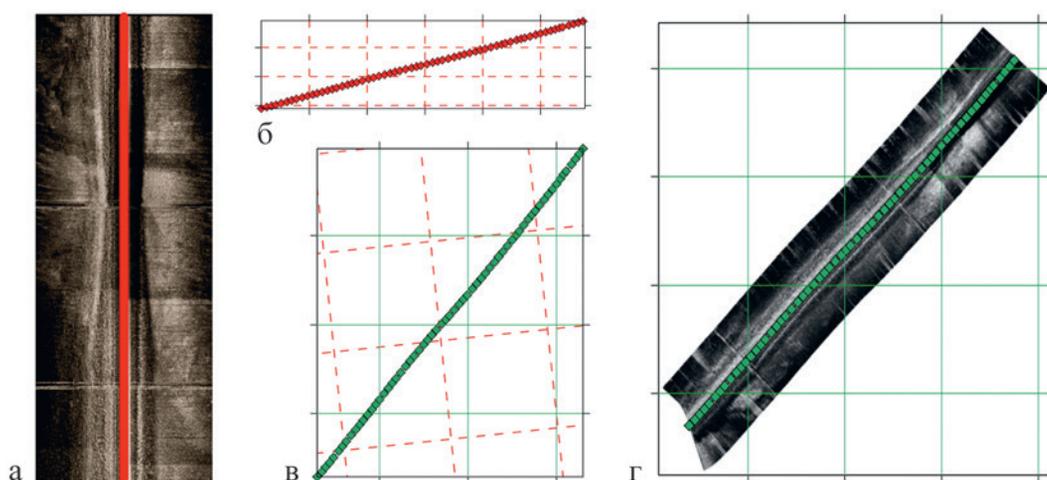


Рис. 3 – Процесс построения гидролокационной мозаики из файла ХТФ: а) фрагмент исходного файла, отображенный в виде последовательности строк. Красной линией в центре обозначена последовательность координат траектории движения судна-носителя; б) траектория движения судна, нанесенная на карту в системе координат WGS84. Пунктирными линиями обозначена сетка координат. Сетка по осям X и Y отличается по масштабу; в) траектория движения судна в системе СК-42. Сплошными линиями показана новая сетка координат, пунктирными – сетка WGS84, нанесенная в текущей системе координат; г) результирующая мозаика, состоящая из строк, отложенных перпендикулярно траектории в системе СК-42. Оси X и Y равны по масштабу

Описание массива данных

Для демонстрации результатов работы созданного ПО был подготовлен ряд данных по материалам гидролокационных съемок в районе Новоземельской впадины в Карском море. Карское море, и данный район в частности, характеризуется присутствием захоронений твердых радиоактивных отходов (ТРО), затопления которых производились в период с 1953 по 1993 гг. (Сивинцев, 2005). Согласно архивным данным, в Новоземельской впадине захоронен ряд радиационно опасных объектов (РАО), включающих 12 судов с грузом твердых и жидких радиоактивных отходов (ЖРО), ТРО без упаковки, а также объекты, содержащие отработавшее и неотработавшее ядерное топливо. Затопления производились в двух крупных районах, обозначенных «Север» и «Центр-Юг» (Римский-Корсаков, 2024). Для организации поисковых работ

в пределах данных районов были выделены три полигона поиска: «Впадина-север», «Впадина-центр» и «Впадина-юг» (рисунок 4).

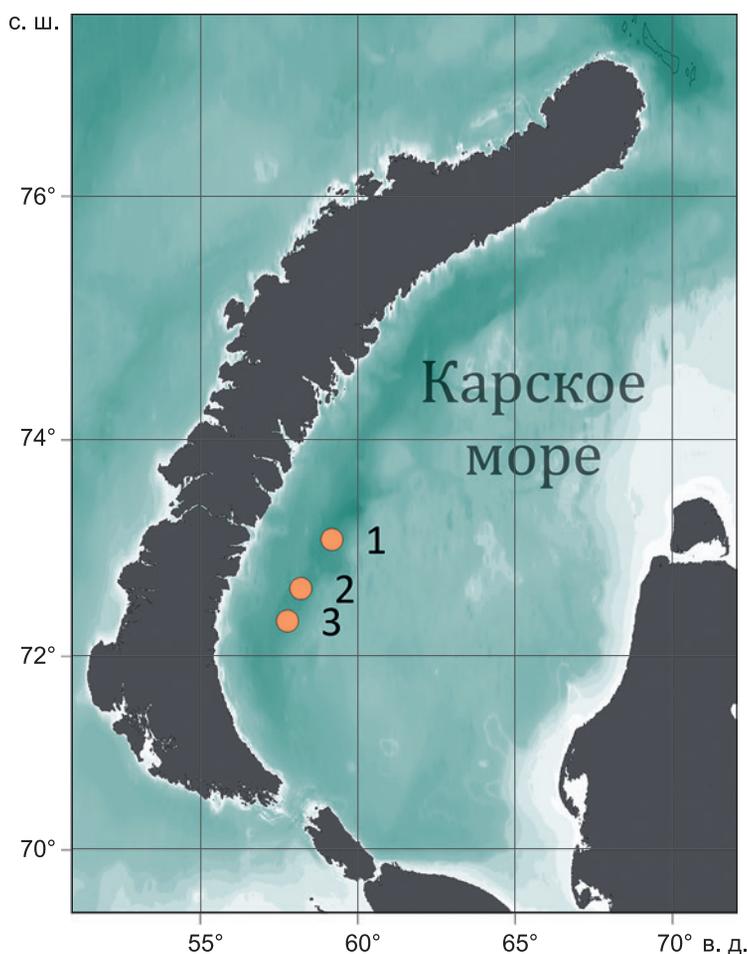


Рис. 4 – Полигоны гидролокационной съемки в районе Новоземельской впадины:
1 – Впадина-север; 2 – Впадина-центр; 3 – Впадина-юг

На момент написания статьи из 12 судов обнаружено и достоверно идентифицировано 3 (Римский-Корсаков, 2024). Данный результат был достигнут в экспедициях ИО РАН совместно с МЧС России и НИЦ «Курчатовский институт» (НИЦ КИ), а поисковые работы выполнялись с использованием ГБО разработки ИО РАН в период с 2013 по 2024 гг. Поскольку зачастую работы по тематике изучения захоронений РАО велись совместно с другими исследованиями в ходе комплексных морских экспедиций, в силу ограниченного времени покрытие площади полигонов гидролокационной съемкой производилось фрагментарно. Это обстоятельство подчеркивает важность организации единой базы данных ГБО для анализа результирующей площади покрытия и планирования дальнейших работ. В экспедициях 2013–2018 гг. работа велась с использованием ГБО «Мезоскан», данные регистрировались в формате WINRASTR. С 2019 по 2024 гг. площадная съемка проводилась с помощью модифицированного ГБО «Мезоскан-Т», а запись производилась в формате XTF. В таблице 1 приведено соответствие районов исследований и оборудования, использованного в ходе работ.

Массив полученных гидролокационных данных представляет собой наглядную выборку для демонстрации работы созданного ПО и подготовки мозаик для интеграции в ГИС.

Табл. 1 – Перечень гидролокационных съемок в районе Новоземельской впадины с использованием ГБО разработки ИО РАН

Тип ГБО / Формат записи	Год	Обследованная площадь, км ²	Полигон поиска
«Мезоскан» / WINRASTR	2013	22.4	Впадина-юг
	2015	13.8	Впадина-юг
	2016	8.0	Впадина-центр
	2017	38.9	Впадина-центр
	2018	61.0	Впадина-центр, Впадина-север
«Мезоскан-Т» / XTF	2019	13.8	Впадина-юг
	2020	29.0	Впадина-центр
	2021	210.0	Впадина-юг, Впадина-центр
	2024	213.0	Впадина-юг

Результаты

Архивные гидролокационные данные в формате WINRASTR, полученные в ходе исследований в Новоземельской впадине, были преобразованы в формат XTF с помощью разработанного ПО. Полученные файлы были использованы для построения гидролокационных мозаик. Мозаики были сгруппированы по годам и нанесены на карту. На рисунке 5 представлены гидролокационные мозаики для каждого из трех полигонов поиска в Новоземельской впадине.

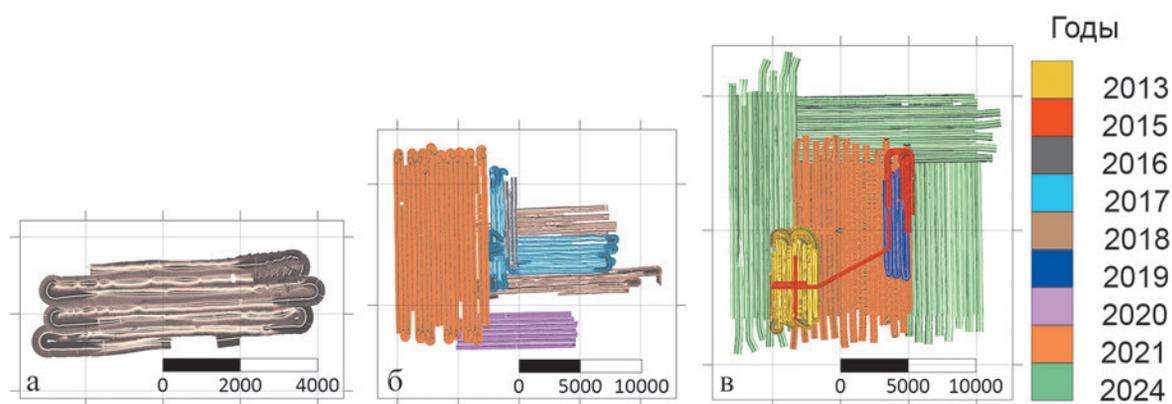


Рис. 5 – Гидролокационные мозаики, построенные по результатам съемок, выполненных в двух районах Новоземельской впадины с 2013 по 2024 гг. на полигонах: а) Впадина-север; б) Впадина-центр; в) Впадина-юг. Цветом обозначен год, в котором получены соответствующие данные. В нижней части каждой мозаики приведена масштабная шкала, единицы измерения – метры

По материалам гидролокационных мозаик становится удобным подсчет общей площади поверхности дна, покрытой съемкой. Для полигона «Впадина-север» она составила 13 км², для полигона «Впадина-центр» – 208 км², а для полигона «Впадина-юг» – 302 км².

Наибольшие по площади съемки выполнены в 2021 и 2024 гг., причем на полигоне «Впадина-юг» в ходе работ были повторены все съемки за предыдущие годы. Такое решение было продиктовано, во-первых, использованием нового оборудования (модернизированный ГБО «Мезоскан-Т»), обеспечивающего более детализированное изображение, а во-вторых, более широкими временными промежутками в экспедициях 2021 и 2024 гг. и, как следствие, возможностью организации маршрута по более регулярной сетке со значительной продолжительностью галсов. Именно на этом полигоне было обнаружено и впоследствии идентифицировано 3 судна, содержащие РАО, а также обширная «россыпь» контейнеров с ТРО и ТРО без упаковки.

На полигоне «Впадина-центр» такого перекрытия мозаик не наблюдается. Съемка 2021 г. является наиболее регулярной и полной, по сравнению с предыдущими, частично пересекаясь со съемкой 2020 г. Полигон «Впадина-север» является практически не исследованным, за исключением непродолжительной съемки в 2018 г.

Заключение

Разработанный программный комплекс показал эффективность при анализе многолетнего ряда данных гидролокационных съемок. Приведение архивных данных к современному формату позволяет производить их обработку как с помощью распространенных пакетов ПО, так и с использованием свободно распространяемых библиотек для языков программирования. Существенным результатом является возможность построения гидролокационной мозаики в формате GeoTIFF со встроенной привязкой к системе координат, что позволяет производить нанесение мозаик на карту в геоинформационных системах.

Приведенный пример построения мозаик по материалам съемок в районе Новоземельской впадины демонстрирует эффективность использования разработанного программного комплекса. Представление данных ГБО в виде мозаик позволило провести анализ площади покрытия поверхности дна в ходе исследований, что открывает возможность дальнейшего планирования работ по обследованию захоронений РАО в Карском море.

Исходный код программного комплекса для преобразования форматов и построения мозаик доступен по ссылке: <https://github.com/oceanbreak/Sonarlab-Mosaic>.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0024). Гидролокационная съемка 2024 г. выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 23-17-00156). Авторы благодарят экипаж НИС «Академик Мстислав Келдыш» и его капитана Горбача Ю. Н., с борта которого было проведено подавляющее большинство упомянутых исследований,

а также д.т.н Римского-Корсакова Н. А., специалистов НИЦ «Курчатовский институт» Книвеля Н. Я., Кикнадзе О. Е., академика Флинта М. В., ст.н.с. ИО РАН Пояркова С. Г., и ученого секретаря экспедиций Щеглову Я. В. за общее руководство и помощь в реализации морских научных исследований.

Список литературы

1. Анисимов И. М., Залота А. К., Лесин А. В., Муравья В. О. Особенности исследования биологических и техногенных объектов с использованием глубоководных буксируемых аппаратов // *Океанология*. 2023. № 63 (5). С. 840–852. <https://doi.org/10.31857/S0030157423050027>.
2. Запотько В. С., Попов А. П., Свиридов С. А., Римский-Корсаков Н. А. ODBASE – система хранения и отображения данных морских исследований Института океанологии РАН // *Океанологические исследования*. 2024. № 52 (2). С. 206–233. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52\(2\).11](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(2).11).
3. Римский-Корсаков Н. А., Тронза С. Н., Анисимов И. М. Развитие гидролокационных технологий глубоководных исследований рельефа дна и подводных объектов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019. № 9. С. 85–90. <https://doi.org/10.17513/mjpf.12856>.
4. Римский-Корсаков Н. А., Тронза С. Н., Анисимов И. М. Архивирование гидролокационных данных океанологических исследований дна акваторий // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020. № 10. С. 47–53. <https://doi.org/10.17513/mjpf.13137>.
5. Римский-Корсаков Н. А. Структура технологии гидролокационных исследований дна и подводных объектов // *Океанологические исследования*. 2017. № 45 (1). С. 187–195. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2017.45\(1\).14](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).14).
6. Римский-Корсаков Н. А., Свиридов С. А., Руссак Ю. С., Костин А. Б., Тихонова Н. Ф. Разработка и эксплуатация глубоководного океанографического комплекса в составе буксируемых аппаратов «Звук» // *Океанологические исследования*. 2023. № 51 (1). С. 133–161. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(1\).7](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).7).
7. Римский-Корсаков Н. А., Книвель Н. Я., Флинт М. В., Казеннов А. Ю., Кикнадзе О. Е., Анисимов И. М., Тихонова Н. Ф. Технологии и результаты исследований объектов, представляющих экологическую угрозу, в Новоземельской впадине // *Океанологические исследования*. 2024. № 52 (3). С. 133–148. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52\(3\).8](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(3).8).
8. Руссак Ю. С., Римский-Корсаков Н. А. Цифровой модуль ввода–вывода гидролокационной информации RAD98. М., 1998. С. 114.
9. Сивинцев Ю. В., Вакуловский С. М., Васильев А. П. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию: Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря («Белая книга-2000») / Ю. В. Сивинцев, С. М. Вакуловский, А. П. Васильев, М., 2005. 624 с.
10. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров / Ю. Г. Фирсов, Санкт-Петербург: Нестор-История, 2010. 348 с.
11. Юркина М. И., Серебрякова Л. И. Действующие Системы Координат В России // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2001. № 3. С. 40–53.
12. Cervenka P., Moustier C. de Sidescan sonar image processing techniques // *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. 1993. Vol. 18. № 2. P. 108–122. <https://doi.org/10.1109/48.219531>.

13. Chesapeake Technology // Makers of SonarWiz [Электронный ресурс]. <https://chesapeaketech.com/> (дата обращения: 06.04.2025).
14. DeepVision // Sonar Systems [Электронный ресурс]. <https://deepvision.se/> (дата обращения: 06.04.2025).
15. HYPACK Hydrographic Surveying Packages // Xylem US [Электронный ресурс]. <https://www.xylem.com/en-us/brands/hypack/?redirect=hypack> (дата обращения: 06.04.2025).
16. Kumar M. World geodetic system 1984: A modern and accurate global reference frame // *Marine Geodesy*. 1988. No. 2 (12). P. 117–126. <https://doi.org/10.1080/15210608809379580>.
17. MB-System // MBARI [Электронный ресурс]. <https://www.mbari.org/technology/mb-system/> (дата обращения: 06.04.2025).
18. Moga Software [Электронный ресурс]. <https://www.mogasw.com/seaview/mosaic/> (дата обращения: 12.04.2025).
19. Puroj 3.7.1 documentation [Электронный ресурс]. <https://pyproj4.github.io/pyproj/stable/> (дата обращения: 11.04.2025).
20. Ritter N., Ruth M. The GeoTiff data interchange standard for raster geographic images // *International Journal of Remote Sensing*. 1997. No. 7 (18). P. 1637–1647. <https://doi.org/10.1080/014311697218340>.
21. SonarTRX Introduction // Leraand Engineering Inc. [Электронный ресурс]. <https://www.sonartrx.com/> (дата обращения: 06.04.2025).
22. XTF file format information // Exail [Электронный ресурс]. <https://www.exail.com/resources/knowledge-center/xtf-file-format-information> (дата обращения: 12.04.2025).

Статья поступила в редакцию 02.04.2025, одобрена к печати 24.06.2025.

Для цитирования: Лакно О. В., Анисимов И. М., Муравья В. О., Пронин А. А. Программный комплекс для обработки архивных гидролокационных данных // *Океанологические исследования*. 2025. № 53 (3). С. 221–235. [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(3\).13](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(3).13).

SOFTWARE PACKAGE FOR ARCHIVED SONAR DATA ANALYSIS

O. V. Lakhno^{1,2}, I. N. Anisimov², V. O. Muravya^{1,2}, A. A. Pronin²

¹ *Institute of Physics and Technology (National Research University),
9, Institutsky pereulok, Dolgoprudny, 141701, Russia,
e-mail: lakhno.o@phystech.edu;*

² *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia*

This article is devoted to the process of processing archival sonar data for seabed research, which has been conducted at the Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (IO RAS) for over 50 years. The paper provides a detailed description of the converter algorithm that allows for the transformation of data from the archival format used by IO RAS, WINRASTR, into the modern standard format XTF. This conversion is necessary for the unification of accumulated data formats, which ensures more efficient processing and analysis. The article also discusses the algorithm for constructing sonar mosaics, which are one of the most convenient ways to represent large amount of seabed survey data. This work aims to enhance the quality of seabed research and optimize the handling of archival data.

Keywords: side-scan sonar research, sonar data archiving, conversion, data processing, side-scan mosaic

Acknowledgments: The study was carried out within the state task of IO RAS (topic No. FMWE-2024-0024). The 2024 sonar survey was conducted with support of the Russian Science Foundation (project No. 23-17-00156).

The authors express their deep gratitude to the crew of the R/V “Akademik Mstislav Keldysh” and its captain Gorbach Y. N., from whose board the vast majority of the mentioned studies were carried out, as well as research fellows of the “Kurchatov Institute” Knievel N. Ya., Kiknadze O. E. and research fellows of the IO RAS Academician Flint M. V., Poyarkov S. G., and Shcheglova Ya. V., who over the course of several years organized large-scale complex expeditions to the Kara Sea.

References

1. Anisimov, I. M., A. K. Zalota, A. V. Lesin, and V. O. Muravya, 2023: Aspects of the Towed Underwater Vehicle “Videomodule”: Utilization for Surveying Underwater Objects and Benthic Fauna. *Oceanology*, **63** (5), 840–852, <https://doi.org/10.31857/S0030157423050027>.
2. Cervenka, P. and C. de Moustier, 1993: Sidescan sonar image processing techniques. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, **18** (2), 108–122, <https://doi.org/10.1109/48.219531>.
3. *Chesapeake Technology – Makers of SonarWiz* [Electronic resource], <https://chesapeaketech.com/> (date of access: 06.04.2025).
4. *DeepVision. Sonar Systems* [Electronic resource], <https://deepvision.se/> (date of access: 06.04.2025).
5. Firsov, Yu. G., 2010: *Osnovy gidroakustiki i ispol'zovaniya gidrograficheskikh sonarov (Fundamentals of Hydroacoustics and the Use of Hydrographic Sonars)*. Nestor-Istoriya-e izd., Saint Petersburg, p. 348.
6. *HYPACK Hydrographic Surveying Packages. Xylem US* [Electronic resource], <https://www.xylem.com/en-us/brands/hypack/?redirect=hypack> (date of access: 06.04.2025).
7. Kumar, M., 1988: World geodetic system 1984: A modern and accurate global reference frame. *Marine Geodesy*, **12** (2), 117–126, <https://doi.org/10.1080/15210608809379580>.
8. *Moga Software* [Electronic resource], <https://www.mogasw.com/seaview/mosaic/> (date of access: 12.04.2025).
9. *MB-System. MBARI* [Electronic resource], <https://www.mbari.org/technology/mb-system/> (date of access: 06 April 2025).
10. *Pyproj3.7 documentation* [Electronic resource], <https://pyproj4.github.io/pyproj/stable/> (date of access: 11.04.2025).
11. Rimsky-Korsakov, N. A., S. N. Tronza, and I. M. Anisimov, 2019: Development of the deep-water sonar technologies for bottom relief and underwater objects research. *International journal of applied and fundamental research*, **9**, 85–90, <https://doi.org/10.17513/mjpf.12856>.
12. Rimsky-Korsakov, N. A., S. N. Tronza, and I. M. Anisimov, 2020: Oceanological bottom studies sonar data archiving. *International journal of applied and fundamental research*, **10**, 47–53, <https://doi.org/10.17513/mjpf.13137>.
13. Rimsky-Korsakov, N. A., 2017: Technology structure of bottom and submarine objects sonar research. *Journal of Oceanological Research*, **45** (1), 187–195, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2017.45\(1\).14](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).14).

14. Rimsky-Korsakov, N. A., S. A. Sviridov, Yu. S. Russak., A. B. Kostin, and N. F. Tikhonova, 2023: Development and operation of deep-sea oceanographic complex as part of towed vehicles “Zvuk”. *Journal of Oceanological Research*, **51** (1), 133–161, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51\(1\).7](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).7).
15. Rimsky-Korsakov, N. A., N. Ya. Knivel, M. V. Flint, A. Yu. Kazennov, O. E. Kiknadze, I. M. Anisimov, and N. F. Tikhonova, 2024: Potential environmental threat objects investigation at the Novaya Zemlya depression. *Journal of Oceanological Research*, **52** (3), 133–148, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52\(3\).8](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(3).8).
16. Ritter, N. and M. Ruth, 1997: The GeoTiff data interchange standard for raster geographic images. *International Journal of Remote Sensing*, **18** (7), 1637–1647, <https://doi.org/10.1080/014311697218340>.
17. Russak, Yu. S. and N. A. Rimsky-Korsakov, 1998: *Tsifrovoy modul' vvoda-vyvoda gidrolokatsionnoy informatsii RAD98 (Digital Input-Output Module for Hydroacoustic Information RAD98)*, Moscow, p. 114.
18. Sivintsev, Yu. V., S. M. Vakulovskiy, and A. P. Vasilyev, 2005: *Tekhnogennyye radionuklidy v moryakh, omyvayushchikh Rossiyu: Radioekologicheskie posledstviya udaleniya radioaktivnykh otkhodov v arkticheskie i dal'nevostochnye morya (“Belaya kniga–2000”)* (*Man-made radionuclides in the seas surrounding Russia: radioecological consequences of radioactive waste disposal in the Arctic and Far Eastern seas (“White Book–2000”)*), Izdatel'stvo AT-e, Moscow, p. 624.
19. *SonarTRX Introduction*. Leraand Engineering Inc. [Electronic resource], <https://www.sonartrx.com/> (date of access: 06.04.2025).
20. *XTF file format information*. Exail [Electronic resource], <https://www.exail.com/resources/knowledge-center/xtf-file-format-information> (date of access: 12.04.2025).
21. Yurkina, M. I. and L. I. Serebryakova, 2001: Deystvuyushchie Sistemy Koordinat V Rossii (Existing Coordinate Systems in Russia). *Geodesy and Aerophotosurveying*, **3**, 40–53.
22. Zapotyl'ko, V. S., A. P. Popov, S. A. Sviridov and N. A. Rimsky-Korsakov, 2024: ODBASE – a system for storing and displaying marine research data of the institute of oceanology of the russian academy of sciences. *Journal of Oceanic Engineering*, **52** (2), 206–233, [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52\(2\).11](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(2).11).

Submitted 02.04.2025, accepted 24.06.2025.

For citation: Lakhno, O. V., I. N. Anisimov, V. O. Muravya, and A. A. Pronin, 2025: Software package for archived sonar data analysis. *Journal of Oceanological Research*, **53** (3), 221–235, [https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53\(3\).13](https://doi.ocean.ru/10.29006/1564-2291.JOR-2025.53(3).13).