

УДК 681.883: 551.462.8

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГИДРОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

В.В.Золотарев, М.С.Ходоренко

Институт проблем морских технологий
ДВО РАН¹

Представлена разработанная в ИПМТ ДВО РАН программа для построения обобщённых акустических «картин» морского дна в виде «мозаики», формируемой из множества первичных гидролокационных изображений, получаемых в процессе многогалсовой ГБО-съёмки. Мозаицированные ГБО-изображения позволяют наглядно, с максимальным приближением к традициям картографии и аэрофотосъёмки, в равномасштабном и пространственно-ориентированном виде отобразить крупномасштабную гидролокационную обстановку в районе работ. Необходимость в программе продиктована в первую очередь потребностями подводной картографии. Разработка программы потребовала корректировки функциональных требований к существующим гидролокационным программам типа «вьюверов» и «планшетов». Очевидна необходимость стандартизации форматов как первичной ГБО-информации, так и мозаицированных данных с целью обеспечения совместимости со стандартами баз данных современных ГИС.

■ 1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ

Методика подводных поисковых и картографических работ с применением обзорных гидролокаторов в качестве средств первичного поиска достаточно полно представлена в литературе [1,2].

Если на стадии отладки и рекогносцировки традиционно больше внимания обращают на достоверность распознавания и идентификации отображаемых гидролокационных целей, то во время производственной съёмки на первое место выходит достоверность и точность их координатной привязки. На ранних этапах использования гидролокаторов бокового обзора (ГБО) координатная информация отсчитывалась непосредственно с эхограмм по известным значениям времени и траверзной

дальности. В дальнейшем этот процесс был автоматизирован: координаты объекта и некоторые его геометрические характеристики получались автоматически при наведении курсора «мышки» на соответствующую точку экрана. При этом эхограмма ГБО отображалась на экране с помощью специализированной программы «Вьювер ГБО», копия экрана которой показана на рис. 1.

Программа «Вьювер ГБО» продолжает оставаться актуальной и сегодня, если необходимо увидеть ГБО-изображения малоразмерных объектов с тем разрешением, которое в принципе достижимо для гидролокационных устройств данного класса. Однако, обладая высоким разрешением и приемлемой точностью координирования, «Вьювер», к сожалению, не даёт

наглядного представления о местоположении отображённых в окне объектов. Далеко не всегда оператору, наблюдающему разноракурсные (т.е. полученные обзором с разных съёмочных галсов) эхо-изображения одной и той же цели, удаётся сопоставить их отметки с единым объектом.

Приемлемым выходом из подобных затруднений оказалось использование программы «Планшет» [3]. Работая одновременно с программами «Вьювер» и «Планшет», оператор ГБО мог быстро перенести координаты выбранных точек или контуров из «Вьювера» на электронный планшет и отобразить на нём эти точки и контуры в виде условных отметок.

Рис. 2 наглядно иллюстрирует, как условные контуры, построенные на основе разноракурсных ГБО-изображений затонувшего судна и причальной стенки с характерным изломом (одна из эхограмм с их ГБО-изображениями представлена на рис.1), достаточно точно накладываются друг на друга, подтверждая при этом приемлемую точность координирования.

Однако в процессе работы с программой «Планшет» становились всё более очевидными её недостатки. Главный из недостатков состоял том, что трактовка принадлежности отмеченной и нанесённой на планшет цели к тому или иному классу объектов оставалась привилегией оператора, и уже никакой последующий эксперт не имел возможности подвергнуть сомнению адекватность этой трактовки. Кроме того, не замеченные и поэтому не нане-

¹ 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а, тел./факс: (4232)432416, e-mail: lab32imtp@marine.febras.ru

сённые на планшет цели выпадали из последующего рассмотрения окончательно.

Более адекватным, наглядным и удобным способом представления гидролокационных данных является их «мозаицирование», т.е. укладка множества эхограмм, полученных в ходе многогалсовой ГБО-съёмки в одном районе работ, на единый электронный планшет этого района (условимся далее называть его «мозаикой»). Необходимость такого представления была продиктована в первую очередь потребностями подводной картографии. Программы мозаицирования позволили наглядно, с максимальным приближением к традициям картографии и аэрофотосъёмки, в геометрически не искаженном, равномасштабном и пространственно-ориентированном виде отобразить крупномасштабную гидролокационную обстановку в районе работ, в том числе распределения разнородных грунтов, наличие массивов подводной растительности, их границы, наличие крупноразмерных искусственных объектов. Вскоре пользователи обзорно-поисковых гидролокаторов увидели в мозаицировании также и очень удобное средство, сочетающее функции вьювера ГБО и навигационного планшета.

Несмотря на ограниченную разрешающую способность «мозаика», дополняя возможности ГБО-вьюверов и электронных планшетов, позволяла (путём совмещения разноразмерных изображений одних и тех же объектов, сравнения их параметров и анализа степени сопрягаемости картин в местах взаимного перекрытия смежных полос обзора) наглядно и оперативно оценивать погреш-

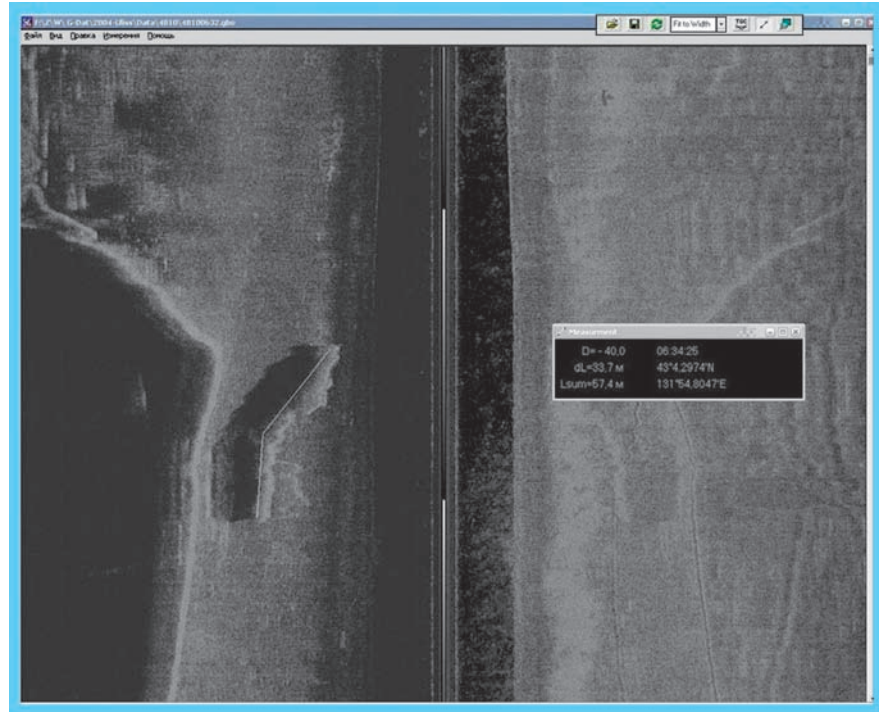


Рис. 1. Копия экрана программы «Вьювер ГБО». В левой части эхограммы в ближней зоне выделяется гидролокационное изображение затонувшего деформированного судна, в дальней зоне отчетливо видно изображение причальной стенки

ности навигационного координирования съёмки. Кроме того, она позволяла более аргументированно планировать такие важные параметры съёмки,

как дальность действия ГБО, процент перекрытия полос обзора на смежных галсах, оптимальную высоту перемещения антенны над дном.

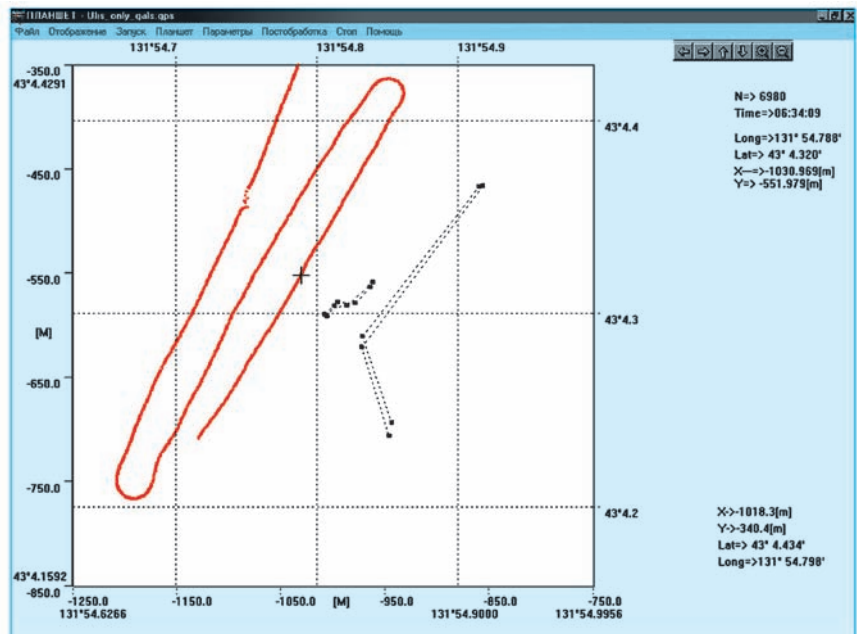


Рис. 2. Копия экрана программы «Планшет ГБО». В виде ломаных линий показаны условные контуры затонувшего судна и причальной стенки, ГБО-изображения которых приведены на рис. 1

■ 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И РЕАЛИЗАЦИЯ

В основу программы «Мозаика» положена процедура укладки на результирующее графическое окно-планшет поочередно всех пикселей, составляющих каждое исходное ГБО-изображение. Далее исходными назовём полученные в ходе ГБО-съёмки первичные гидролокационные файлы-изображения, в каждом из которых представлена эхo-информация, накопленная во время прохода одного галса. Координаты любого пикселя окна-планшета строго определены и привязаны к географической сетке. Перед переносом пикселей на окно-планшет «Мозаики» координаты каждого пикселя каждого исходного ГБО-изображения вычисляются на основе содержащейся в ГБО-файлах навигационной информации. В ГБО-форматах ИПМТ навигационная и другая служебная информация содержится в т.н. «идентификационных» файлах *.idx, в то время как информация об акустической «яркости» каждого пикселя содержится в файлах *.gbo, очень близких по структуре к графическим файлам формата *.bmp. Если оказывается, что на некоторую область окна должна быть уложена информация более чем одного галса, то тогда окно-планшет формируется в многослойном представлении. В процессе последующей работы с «Мозаикой» пользователь может по своему усмотрению назначать приоритеты в отображении полученных слоёв на поле окна-планшета.

Навигационные вычисления производятся на основе упрощённых формул, точность которых не уступает точности координатных данных, получаемых

от комплексированной навигационной системы (КНС) АНПА (либо, в буксируемом варианте, точности типовых GPS).

Вначале вводятся или вычисляются следующие величины:

- средняя широта места

$$\varphi_0 = \frac{(\varphi_N - \varphi_S)}{2}, \quad (1)$$

где φ_N и φ_S - крайние значения широты района работ (вычисляются автоматически на основе анализа координатных данных, содержащихся во всех исходных *.idx-файлах);

- значение радиуса Земли на средней широте φ_0 :

$$R_{\varphi_0} = \sqrt{\frac{(1 + tg^2 \varphi_0) \cdot R_n^2 \cdot R_s^2}{R_n^2 + R_s^2 \cdot tg^2 \varphi_0}}, \quad (2)$$

где $R_n = 6356777$ м, $R_s = 6378160$ м - соответственно полярный и экваториальный радиусы Земли.

Здесь и далее все значения широты φ и долготы λ взяты в радианах, т.е. в том виде, в каком они представлены в *.idx-файлах. В формулы (1, 2) они подставляются без перевода в градусную меру.

Координаты любого пикселя исходного ГБО-изображения ($\varphi_{u,i,j}$, $\lambda_{u,i,j}$) вычисляются на основании выбираемых из *.idx-файла (и соответствующих i -му моменту времени) значений широты $\varphi_{r,i}$ и долготы $\lambda_{r,i}$ антенны ГБО по следующим формулам:

$$\varphi_{u,i,j} = \varphi_{r,i-m} + \sin(-(k_{i-m} + \delta k_{i-m})) \cdot \left(\frac{D_j}{R_{\varphi_0}} \right), \quad (3)$$

$$\lambda_{u,i,j} = \lambda_{r,i-m} + \cos(k_{i-m} + \delta k_{i-m}) \cdot \left(\frac{D_j}{R_{\varphi_0} \cdot \cos(\varphi_0)} \right), \quad (4)$$

где i - номер цикла ГБО-зондирования, или, что то же самое, номер ГБО-строки на ГБО-изображении, (считаем, что i -й момент времени, когда антенной излучается i -я ГБО-посылка, совпадает с моментом извлечения из GPS-приёмника координатных данных также под номером i), j - номер отсчета (пикселя) вдоль строки от момента зондирования до изображения элементарной цели на этой же строке, D_j - траверзная дистанция от антенны ГБО до обрабатываемой элементарной цели, соответствующей пикселю с номером j на гидролокационной строке, k_i - значение курса АНПА в текущий i -й момент времени, δk_i - поправка, связанная с особенностями размещения антенны ГБО на носителе, либо, в случае использования ГБО в буксируемом варианте, поправка на режим движения.

Поскольку значение R_{φ_0} в процессе вычислений берётся в метрах, то и значение D_j (которое в *.gbo-файле изначально присутствует в виде номера пикселя на гидролокационной строке) следует переводить в метры. Это делается по формуле

$$D_j = j \cdot \delta D = j \cdot \frac{c}{2 \cdot F_{отсч}}, \quad (5)$$

где δD - величина пространственной дискретности вдоль строки (в метрах/пиксель), c - скорость звука в воде, $F_{отсч}$ - частота отсчетов эхo-сигнала.

Необходимо, чтобы записываемые в *.idx-файл текущие значения k_i формировались по данным истинного курса или чтобы (при использовании магнитных компасов) учитывалось местное магнитное склонение. Когда данные k_i поступают в *.idx-файл от КНС АНПА, обычно так и происходит. Но если

ГБО-съёмка выполняется с использованием буксируемых устройств (БУ), не имеющих в своём составе курсовой системы, то в формулы (3, 4) в качестве k_i вместо истинного курса приходится подставлять путевой угол БУ, вычисляемый на основе данных GPS-приёмника. В этом случае для повышения точности координирования вводится поправка на режим движения δk_i . Индекс m делает вычислительные формулы (3, 4) универсальными как для ГБО-съёмки с борта АНПА, так и для буксируемого режима работы, причём случай $m = 0$ достаточно точно отражает ситуацию, когда антенна ГБО, работающего в составе АНПА, и датчик географических координат расположены в одной точке. Рассматривая только ГБО-съёмку, выполняемую с борта АНПА, подробности вычисления величин m и δk_i для буксируемого режима в настоящей статье приводить не будем. Для получения высоких точностей координирования по формулам (3), (4) курс надо знать с точностью не хуже, чем ширина диаграммы направленности антенны ГБО (т.е. для низкочастотного ГБО – не хуже 1° , а для высокочастотного ГБО – $0,3^\circ$). Для съёмки с использованием НЧ ГБО задача не представляется сложной, поскольку колебания дифферента и рыскание АНПА обычно не превышают 1° . В случае ВЧ ГБО-съёмки требуются дополнительные меры (аппаратные либо программные) для повышения адекватности отсчёта координат удалённых целей.

Программа «Мозаика» позволяет выполнять в окне-планшете и некоторые навигационные вычисления, например: отображать координаты точки, на которую наведён манипулятор «мышь»,

вычислять расстояния между двумя выбранными точками, вычислять азимутальные углы между точками, оконтуривать изображения придонных объектов и вычислять длину ломаной линии, образующей контур или его часть. С помощью стандартных процедур операционной системы (ОС) Windows координаты курсора мыши в пиксельно-координатной системе экрана вычисляются с точностью до одного пикселя. Результаты навигационных вычислений выдаются во вспомогательное навигационное окошко, а также в буфер обмена, что позволяет оперативно вводить вычисленные данные в текст отчёта, в электронный планшет либо в любую другую специализированную программу, в том числе в базу данных ГИС. В навигационном окошке мы можем видеть также имена всех первичных ГБО-галсов, с которых была видна точка дна, соответствующая пикселю, на которую наведён курсор «мышь». Помимо имён в окошке отображается информация о соответ-

ствующих моментах времени и траверзных дистанциях до этой точки.

Рисунок 3 иллюстрирует вид окна программы «Мозаика». Её интерфейс организован по аналогии с большинством современных графических программ, работающих под управлением ОС Windows. Используется принцип ниспадающего меню. Через меню «Tools» можно (в пределах от 0,1 до 10 метров/пиксель) установить размер элементарного донного рассеивателя, соответствующего одному пикселю экрана. От этого выбора зависят и пространственное разрешение программы, и скорость обработки данных. Масштаб окна «Мозаики» по желанию оператора может быть изменён от долей процента до 100%, причём при выборе масштаба 100% каждый экранный пиксель конкретного слоя отображает акустическую «яркость» только одного ему соответствующего придонного рассеивателя.

На рис. 3 мозаичная картина представлена в градациях

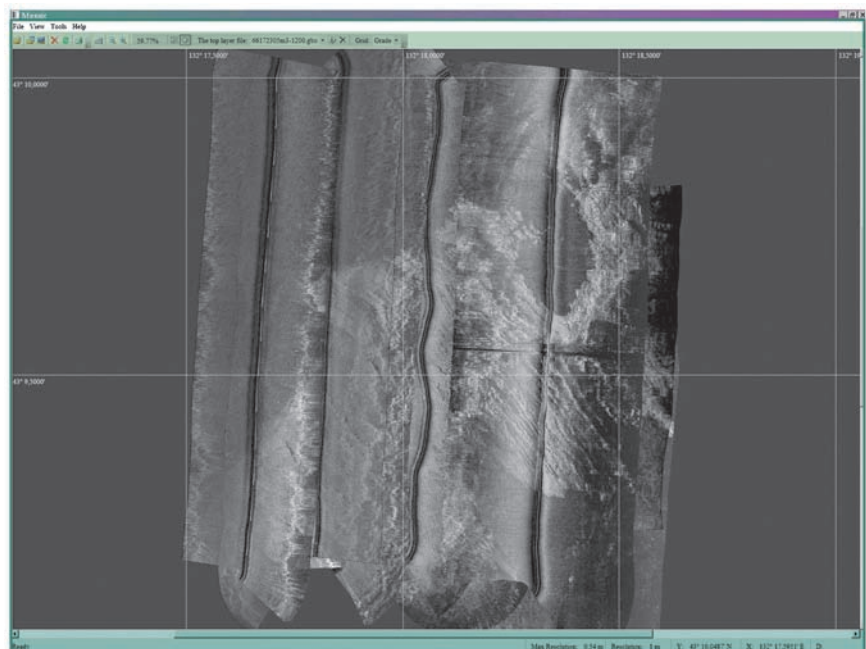


Рис. 3. Копия экрана с мозаикой акустического изображения, полученного в результате ГБО-съёмки прибрежной части дна Уссурийского залива. Рабочая частота гидролокатора 80 кГц, полоса обзора от 2×200 м до 2×250 м

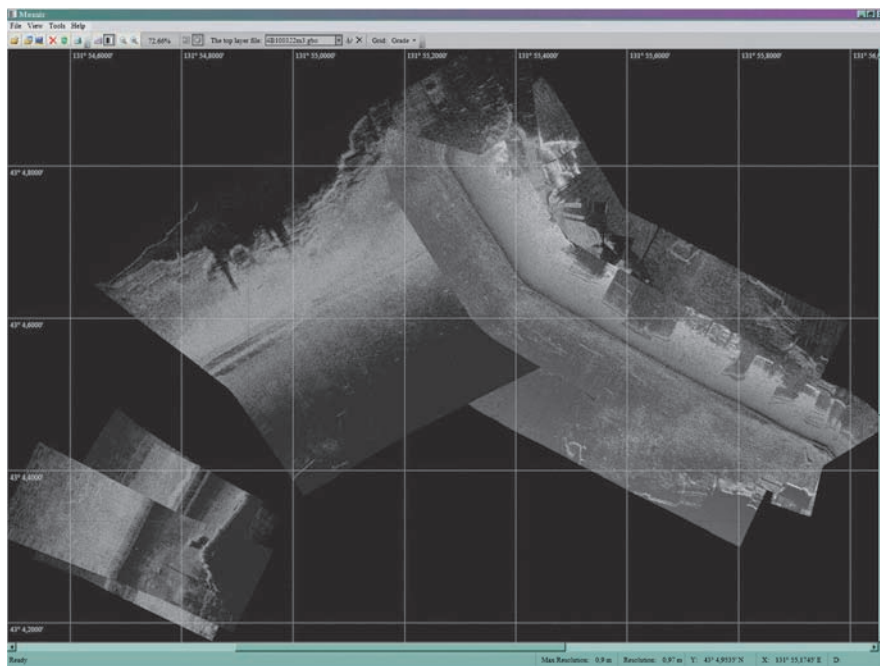


Рис. 4. Копия экрана с мозаикой акустического изображения, полученного в результате ГБО-съемки поверхности морского дна в акватории порта Владивостока. Рабочая частота гидролокатора 80 кГц, полоса обзора на разных галсах от 2×180 м до 2×375 м

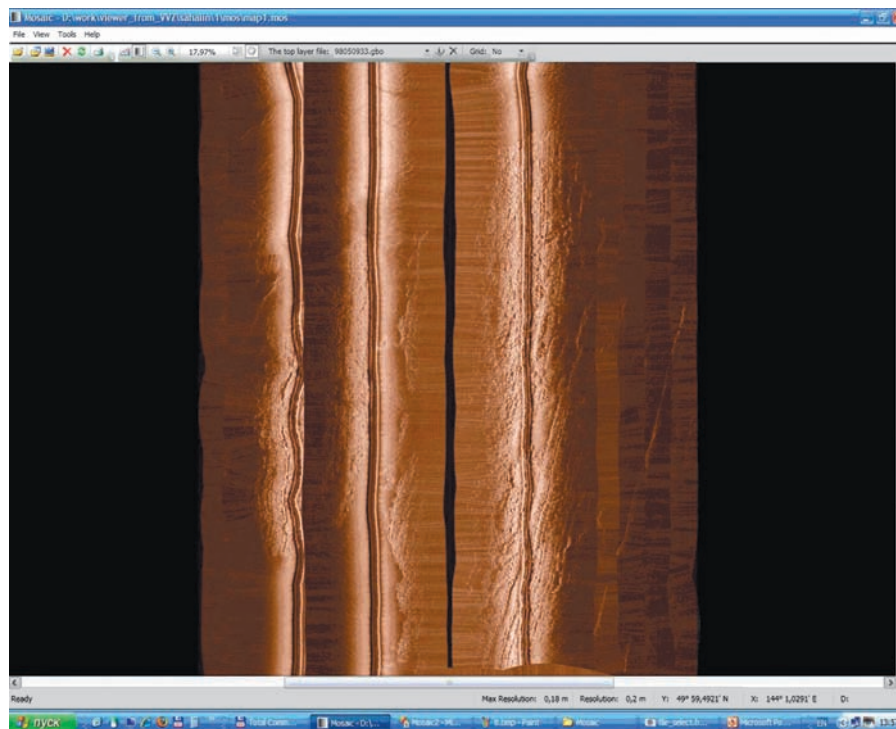


Рис. 5. Копия экрана с мозаикой акустического изображения, полученного в результате ГБО-съемки прибрежной акватории вблизи о-ва Сахалин. Рабочая частота гидролокатора 430 кГц, полоса обзора 2×90 м. Все галсы в ходе съемки выполнены с большим перекрытием по площади. Любой галс может быть по выбору оператора добавлен на общую мозаику или удалён с неё. В демонстрационных целях на данном рисунке удалён центральный галс и в результате видна не покрытая им область дна

серого, но по желанию пользователя может быть установлена и другая палитра, например *Seria* (см. рис. 5). На окно «Мозаики» может быть наложена координатная сетка: либо метровая, либо минутно-градусная (см. рис. 4), причем шаг сетки и её оцифровка изменяются автоматически по мере изменения масштаба.

В работающую программу на любом этапе может быть догружен любой новый файл. Аналогично любой ненужный файл может быть выгружен. Широко используется принцип «полупрозрачности» отображаемых графических данных. Его суть сводится к тому, что верхние слои покрывают слои нижнего уровня лишь частично. На участках окна, где в слое верхнего уровня нет значимых пикселей, полноценно видна картина слоя второго уровня и так далее до последнего слоя с низшим рангом. В реальной морской обстановке ГБО-галсы не бывают идеально прямолинейными. В случае поворотов и отклонений носителя ГБО от прямолинейной траектории возможны «слепые» зоны. Тогда некоторые пиксели верхнего слоя даже в пределах полосы обзора могут в процессе построения мозаики оказаться пустыми, и сквозь эти пиксели просматриваются пиксели нижних слоёв, обладающих более низким рангом. Как уже сказано, ранги (или приоритеты отображения) любого слоя можно менять по усмотрению пользователя. В отличие от программы «Вьювер ГБО» гидролокационные изображения всех галсов выводятся со строгим соблюдением принципа равномерности как вдоль, так и поперёк гидролокационной строки. В связи с этим при построении мозаичного окна-планшета обязательно производится коррекция «тан-

генциальных» искажений, т.е. происходит преобразование наклонных дальностей D_{ijH} в дальности горизонтальные $D_{ijГ}$ на основании формулы

$$D_{ijГ} = \sqrt{D_{ijH}^2 - H_i^2}, \quad (6)$$

где H_i – высота антенны ГБО над дном в i -й момент времени.

Для выполнения вычислений в процессе коррекции «тангенциальных» искажений значения высоты ГБО-съёмки выбираются из *.idx-файла. В случае отсутствия таких данных в каждой ГБО-строке их можно ввести вручную, однако в этом случае неизбежно появление некоторых координатных погрешностей в ближней зоне обзора.

На рис. 4-5 представлены с пояснениями несколько примеров отображения ГБО-информации в окнах программы «Мозаика».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время программа «Мозаика» ориентирована на работу с принятым в ИПМТ ДВО РАН форматом исходных гидролокационных данных *.gbo/*.idx. С целью повышения функциональности этого формата недавно он был пересмотрен и модифицирован. Соответствующие изменения внесены и в программу «Мозаика». Кроме того, с целью обеспечения «стыкуемости» с общеупотребительными международными форматами данных все гидролокационные аппаратно-программные средства ИПМТ, включая «Мозаику», «Вьювер ГБО/ГСО», «Планшет» и софт бортовых компьютеров системы акустического зрения АНПА переводятся на многоформатный режим. В частности, для удоб-

ства межведомственного обмена данными в качестве обязательного в перечень употребляемых форматов включён формат ХТФ. Названные меры призваны обеспечить в том числе и высокую совместимость входных/выходных данных аппаратно-программных средств ИПМТ ДВО РАН со стандартами баз данных современных ГИС.

В связи с развитием программы «Мозаика» повышены также и функциональные требования к программе «Вьювер ГБО», в которой помимо повышения функциональности просмотро-документирующих инструментов высокого разрешения существенно расширяются и модифицируются функции редактирования и предобработки исходных ГБО-файлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Матвиенко Ю.В. и др. Автономные подводные роботы. Системы и технологии / Под общей ред. М.Д.Агеева. М.: Наука, 2005. 398с.
2. Смирнов Г.В., Еремеев В.Н., Агеев М.Д., и др. Океанология: средства и методы океанологических исследований. М.: Наука, 2005. 795 с.
3. Золотарев В.В., Косарев Г.В. Диалоговый программный комплекс для координатной привязки гидролокационных целей // Технические проблемы освоения Мирового океана: Матер. науч.-техн. конф. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 354-359.

