

РАЗРАБОТКА МОРСКИХ И ШЕЛЬФОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

УДК 528.472

Ю. Г. Фирсов,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА СОВРЕМЕННОЙ БАТИМЕТРИЧЕСКОЙ (ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ) СЪЕМКИ

THE MAIN REQUIREMENTS FOR THE BATHYMETRIC (TOPOGRAPHIC) SURVEYING QUALITY CONTROL

Анализируются требования обеспечения качества батиметрической (морской топографической) съемки на всех этапах ее выполнения. Отмечается, что в современных нормативных документах в области гидрографии отсутствуют требования по обеспечению качества работ. Предлагается ввести в обиход такие понятия, как «критерии качества», «контроль качества», «процедуры обеспечения качества».

The issues for quality control of the bathymetric surveying are discussed. Observation of the new rules for hydrographic surveying show that the quality control and quality assurance issues are not included. Suggestions to include such terms as “quality control”, “quality assurance”, “quality criteria” are put forward.

Ключевые слова: качество батиметрической съемки, многолучевой эхолот, контроль качества, процедуры обеспечения качества.

Key words: bathymetric survey quality, multibeam echosounder, quality control, quality criteria.

СОВРЕМЕННАЯ электронная гидрография обладает арсеналом средств и методов, способных получать цифровые модели подводного рельефа с точностью, соизмеримой с цифровыми моделями суши. Отличие заключается в том, что цифровые модели суши доступны прямому контролю и проверке их качества, а дно водоемов скрыто от непосредственного визуального наблюдения, и поэтому контроль качества цифровой модели может быть осуществлен только косвенными методами. При этом обеспечение качества батиметрической съемки на всех этапах выполнения работ приобретает особое значение.

В отечественной гидрографической науке и практике вопросам качества, к сожалению, не уделяется должного внимания. В отечественных нормативно-технических документах (НТД) [1; 2] вопросы качества выполнения работ и представления их результатов не рассматриваются. В проектах новых НТД, например [3, с. 46–50], вопросы качества съемок также не отражены.

Рассмотрим вопросы качества применительно к выполнению прецизионной съемки рельефа дна, именуемой батиметрическими или топографическими работами на акватории. Отметим, что использование термина «топографическая съемка» применимо, как правило, в случае, когда в качестве нуля глубин используется национальная система отсчета высот (например, Балтийская) и результаты съемки подводного и надводного рельефа совмещаются. Батиметрическая съемка может выполняться в большом диапазоне глубин, имеет целью получение детальной модели микро-рельефа, который, как правило, необходим для инженерных целей, включая обеспечение создания инфраструктуры морских месторождений углеводородов на дне.

Рассмотрим общую методику выполнения детальной батиметрической (топографической) съемки с использованием средств площадной на основе применения многолучевого эхолота (МЛЭ) для получения цифровой модели рельефа дна на глубинах менее 200 м. Методика выполнения глубоководной батиметрической съемки с МЛЭ приведена в работе [4, с. 60–66].

Методика площадной съемки многолучевым эхолотом должна включать следующие этапы: подготовка к съемке; выполнение съемки; пост-обработка результатов съемки; представление результатов съемки; а также интерпретация и оценка результатов съемки.

На каждом из указанных этапов должен осуществляться контроль качества.

Для проведения площадной съемки рельефа в инженерных целях предпочтение следует отдавать методам GNSS-определения планово-высотного положения опорных точек и отметок глубин на акватории с применением технологии кинематики реального времени (Real Time Kinematic = RTK). Применение данной технологии позволяет существенно повысить качество площадной съемки. Под термином «качество» в дальнейшем предполагается совокупность трех взаимосвязанных характеристик: точности, правильности и надежности. При этом: точность — мера оценки случайных погрешностей; правильность — мера компенсации систематических ошибок; а надежность — мера исключения грубых ошибок (выбросов) глубин и их координат на дне.

При выполнении работ на особо сложных объектах, а также на объектах, где работы проводятся впервые, заказчик может потребовать привлечения независимого эксперта — своего представителя (супервайзера) для обеспечения выполнения функций *гарантии качества* [5, с. 348].

Методика подготовки к съемке должна включать следующие мероприятия:

- 1) подготовку персонала — сотрудников организации для выполнения съемки;
- 2) подготовку проекта выполнения съемки, включая разработку плана контроля качества;
- 3) подготовку исходных данных и оборудования для выполнения съемки;
- 4) метрологическую аттестацию и калибровку аппаратуры.

План контроля качества является необходимым документом, в котором описываются все действия исполнителя съемки, направленные на обеспечение контроля качества на всех этапах выполнения работ.

Организация, претендующая на получение контракта на проведение площадной съемки подводного рельефа, в том числе в инженерных целях, должна обеспечивать выполнение набора мероприятий по контролю качества:

- постоянную переподготовку и аттестацию сотрудников;
- метрологическую аттестацию и полевую калибровку оборудования;
- подготовку и поддержание в рабочем состоянии тестовых полигонов для калибровки оборудования на акватории проведения съемочных работ;
- создание и поддержание базы данных и знаний по используемому оборудованию, программному обеспечению и нормативной документации.

Организация должна иметь собственный типовой стандарт, регламентирующий выполнение площадной съемки с использованием многолучевого эхолота для формирования цифровой модели дна с заданным уровнем качества.

Методика выполнения съемки.

Методика выполнения съемки включает следующие этапы:

- подготовка к съемке на акватории.
- выполнение съемки с полевым контролем качества.

В процессе подготовки к съемке на акватории необходимо осуществить следующие мероприятия.

1. Определить геодезические координаты опорных точек в районе съемки:

- а) в системе координат ITRF (International Terrestrial Reference Frame) на текущую эпоху (точность определения координат береговых опорных точек должна быть не хуже 0,05 м (95 %); необходимо иметь не менее двух опорных точек в системе координат съемки, а также дополнительную опорную точку в районе стоянки плавсредства);

- б) в местной системе координат объекта (с аналогичной точностью).

2. Установить на акватории уровенные посты. Выполнить определения высотного положения нулей уровенных реек и самописцев уровня. Определить отсчеты по рейке, соответствующие положению нуля глубин. Количество уровенных постов на акватории съемки должно быть

не менее двух. При наличии самописцев уровня следует выполнить многократное сличение отчетов по рейке и самописцу уровня.

3. Смонтировать аппаратуру на судне-носителе и определить смещения антенн МЛЭ, средства позиционирования и статическое заглубление антенны МЛЭ. Точность определения смещений должна быть не хуже 0,05 м (95 %). Точность определения статического заглубления антенны должна быть не хуже 0,03 м (95 %).

4. Настроить проект съемки в гидрографической информационной системе.

При настройке проекта съемки следует выполнить:

— установку программы «геодезия»; должен обеспечиваться автоматический пересчет геодезических координат, определяемых системой позиционирования, в проекционные координаты съемки с контролем;

— загрузку картографической подложки с изображением акватории и береговой полосы с отображением необходимой нагрузки;

— настройку сопряжения со всеми внешними датчиками и проверку правильности настройки «геодезии» с использованием координат дополнительной опорной точки в районе стоянки плавсредства;

— при топографической съемке использовать режим определения высотных отметок рельефа (взамен глубин);

— расчет априорной модели погрешностей глубин и их плановых координат комплекса МЛЭ;

— настройку системы тревоги и предупреждений программы гидрографической информационной системе.

При завершении настройки проекта съемки необходимо провести швартовые испытания комплекса МЛЭ, заключающиеся в проверке работоспособности и качества работы: системы позиционирования; датчика перемещений судна (ДПС); измерителя скорости звука в воде на антенне МЛЭ; самого МЛЭ, а также в проверке стабильности электропитания всех элементов комплекса.

Швартовые испытания системы позиционирования должны включать проверку правильности и стабильности поступления данных в компьютер МЛЭ. Подтверждение качества работы системы позиционирования осуществляется с использованием специального программного обеспечения. Должен быть предусмотрен расчет точности по внутренней сходимости и расчет точности относительно координат дополнительной опорной точки в районе стоянки плавсредства; отклонение координат антенны системы позиционирования и опорной точки не должно превышать ± 1 м (95 %).

Швартовые испытания датчика перемещений судна и датчика скорости звука на антенне МЛЭ заключаются в проверке правильности и стабильности поступления данных в компьютер МЛЭ.

Швартовые испытания МЛЭ заключаются в проверке правильности и стабильности поступления данных от сопряженных датчиков в компьютер МЛЭ и получении стабильных значений поперечного профиля глубин.

Полевая калибровка комплекса МЛЭ должна выполняться по возможности на специально подготовленном полигоне, созданном на акватории, и заключается в выполнении следующих операций:

- 1) определение поправок динамического заглубления антенн МЛЭ (для глубин менее 40–50 м);
- 2) подготовка цифровой модели рельефа полигона;
- 3) выполнение измерений профиля скорости звука на полигоне и колебаний уровня;
- 4) выполнение калибровки МЛЭ в соответствии с программой, используемой в гидрографической информационной системе.

Выполнение эксплуатационного теста комплекса МЛЭ на подготовленном полигоне с одновременным определением ширины «гидрографической» полосы обзора МЛЭ [5]. Эксплуатационный тест должен подтвердить возможность выполнения площадной съемки рельефа с требуемой точностью. Калибровка МЛЭ должна быть выполнена перед началом и после окончания съемки.

Полевая калибровка имеет целью подтвердить заявленный уровень качества работы комплекса МЛЭ и его готовность для проведения съемки на акватории.

Выполнение съемки с контролем качества.

Выполнение съемки подводного рельефа с использованием МЛЭ заключается в обеспечении решения трех взаимосвязанных задач:

- вождение плавсредства по системе проектных галсов и выполнение заданного уровня перекрытия смежных полос многолучевой съемки;
- реализация непрерывной регистрации данных многолучевого промера в файл съемки, включая информацию о метаданных;
- полевой контроль комплекса МЛЭ, который в соответствии с рекомендациями Международной гидрографической организации (МГО) именуют «контролем целостности» [8, р. 28], включая оперативное сравнение данных от различных источников;
- выполнение контрольных галсов многолучевой съемки.

Контроль целостности комплекса МЛЭ при выполнении съемки является актуальной и сложной задачей и заключается в опережающем выявлении нештатных ситуаций в аппаратуре и их устранение путем своевременного вмешательства оператора. Для решения этой задачи должна максимально эффективно использоваться система тревоги гидрографической информационной системы. Контроль целостности является одним из средств контроля качества съемки в реальном масштабе времени. Контроль качества многолучевой съемки выполняется также путем непрерывного мониторинга МЛЭ и внешних датчиков путем графической визуализации правильности их работы.

Применительно к МЛЭ контроль должен осуществляться визуально путем оперативного анализа графической информации в окнах: «Поперечный профиль глубин», «Цифровая модель дна в полосе обзора 3D/2D», «Цифровая модель дна 3D». Большинство современных электронных гидрографических информационных систем (ЭГИС) имеют инструменты, обеспечивающие полевой контроль качества площадной батиметрической съемки, включая оперативную визуализацию цифровой модели рельефа дна, правильность работы МЛЭ и сопряженных датчиков, а также опций выдачи предупредительной сигнализации. Конкретная методика контроля качества работы МЛЭ зависит от доступных опций ЭГИС.

Визуальный анализ информации в графических окнах должен подтвердить:

- правильность детектирования дна по максимально возможному количеству лучей МЛЭ;
- контроль правильности введенного вертикального разреза скорости звука, возможный на участках с плоским дном на основе анализа формы поперечного профиля глубин (метод «улыбка»);
- отсутствие недопустимых пропусков в акустическом покрытии дна;
- достижение максимальной ширины полосы обзора при данных гидроакустических условиях.

Контроль качества работы внешних датчиков включает:

- анализ допустимой погрешности места определения по данным автономной оценки точности (GPS/ГЛОНАСС аппаратуры), а также сопоставление данных различных источников информации;
- допустимость рассогласования показаний датчика скорости звука, который находится на антенне МЛЭ, и данных из файла вертикального разреза скорости звука на горизонте антенны;
- контроль качества данных, выдаваемых ДПС, с использованием собственного программного обеспечения, а также проверка качества данных ДПС в самой ЭГИС.

ЭГИС, используемая для площадной съемки, должна иметь опции автоматизированного создания файла метаданных, который должен входить в набор файлов результатов многолучевой съемки.

В качестве примера полевого контроля качества многолучевой съемки приведем ЭГИС QINSy [6]. При выполнении высокоточной площадной батиметрической съемки для гарантии качества выработки позиции в составе комплекса МЛЭ, как правило, используются два спутниковых приемника. В этом случае для контроля качества позиционирования может быть использована опция оперативного сравнения позиций, приведенных к единой точке на корпусе носителя, например к центру судовой системы координат.

На рис. 1 показано окно Scatter Plot (Планшет рассеивания), показывающее параметры средних квадратических эллипсов каждой позиции, а также параметры соединяющего их вектора в виде проекций по широте (delta Northing), долготы (delta Easting) и высоте (delta Height).

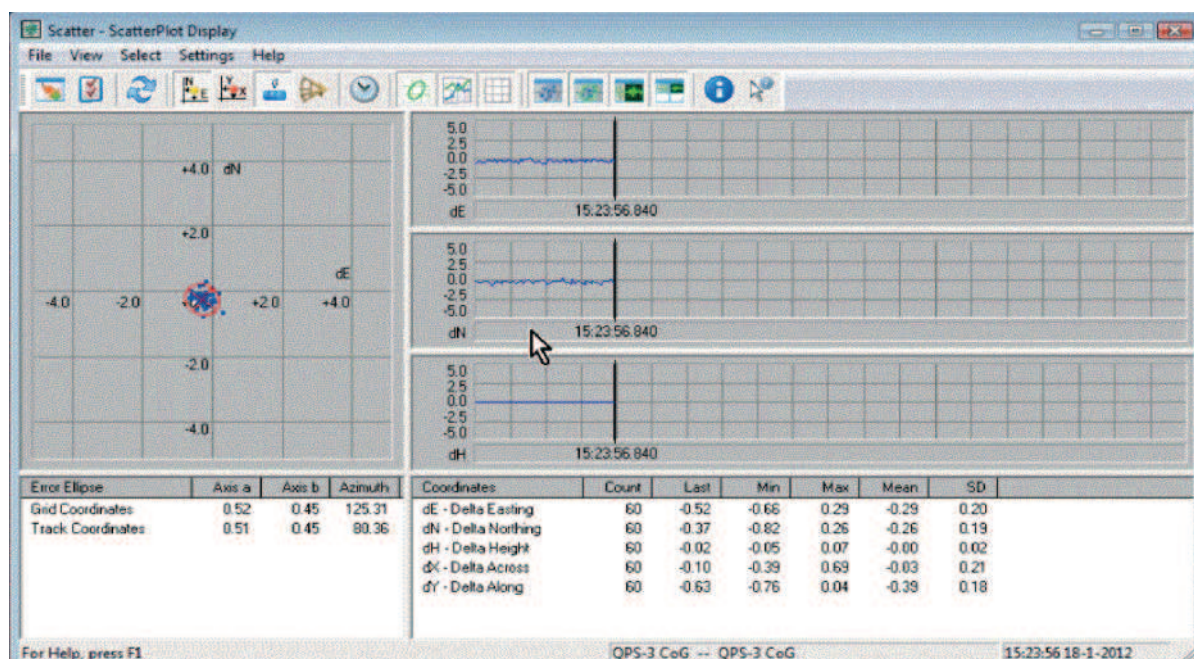


Рис. 1. Окно программного модуля Scatter Plot

Наиболее ответственным датчиком, обеспечивающим работу МЛЭ, является ДПС, к контролю качества которого предъявляются повышенные требования. Одним из методов, реализованных в ЭГИС QINSy, является визуальный контроль работы ДПС, осуществляемый с использованием окна TimePlot. В окна типа TimePlot может быть выведена самая различная информация. Наиболее актуальным является представление во времени данных крена (Roll), дифферента (Pitch), вертикального перемещения (Heave), поступающих от ДПС. На рис. 2 представлено окно TimePlot, позволяющее визуализировать указанные параметры. В случае использования для позиционирования режима RTK целесообразно также совместно контролировать величину вертикального перемещения от ДПС и геодезическую высоту антенны МЛЭ в другом окне TimePlot.

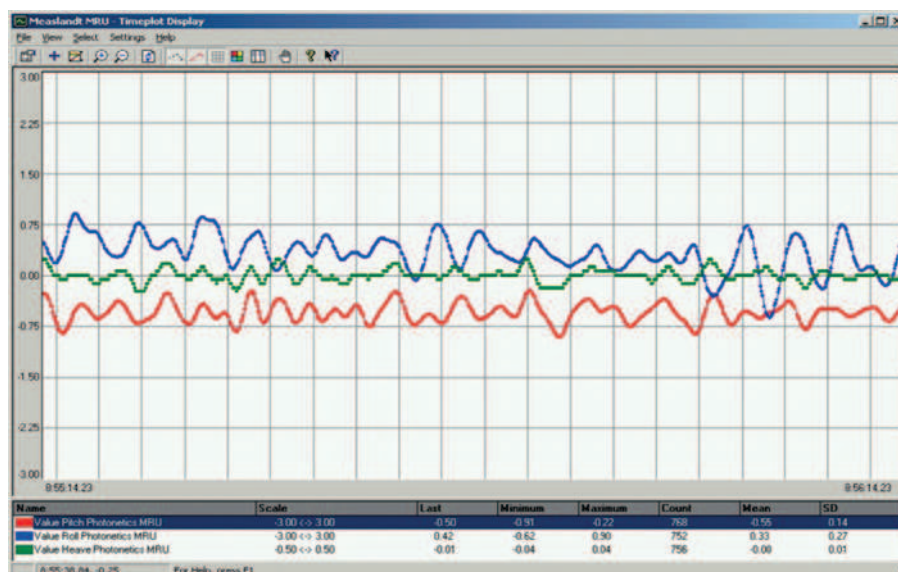


Рис. 2. Окно программного модуля TimePlot

На рис. 3 представлен экран монитора ЭГИС QINSy, осуществляющей управление работой батиметрического комплекса на базе МЛЭ EM-2040C (Dual) фирмы “Kongsberg”. На этом рисунке:

- окно 1 (Swath System) — показывает исправленный по данным ДПС поперечный профиль глубин по единичной посылке МЛЭ. Данные антенны левого борта отображаются желтым, а правого — красным цветом;
- окно 2 (Alert) — отображает выбранный набор параметров тревожных предупреждений; тревога индицируется красным цветом, а ее отсутствие — зеленым;
- окно 3 (Raw MB) — индицирует неисправленный поперечный профиль глубин отдельно по левой и правой антеннам МЛЭ (настроено для варианта отображения информации в водной толще);
- окно 4 (Navigation) — карта в варианте 2D, отображающая регулярную сетку глубин (грид) реального времени (батиметрическая модель).

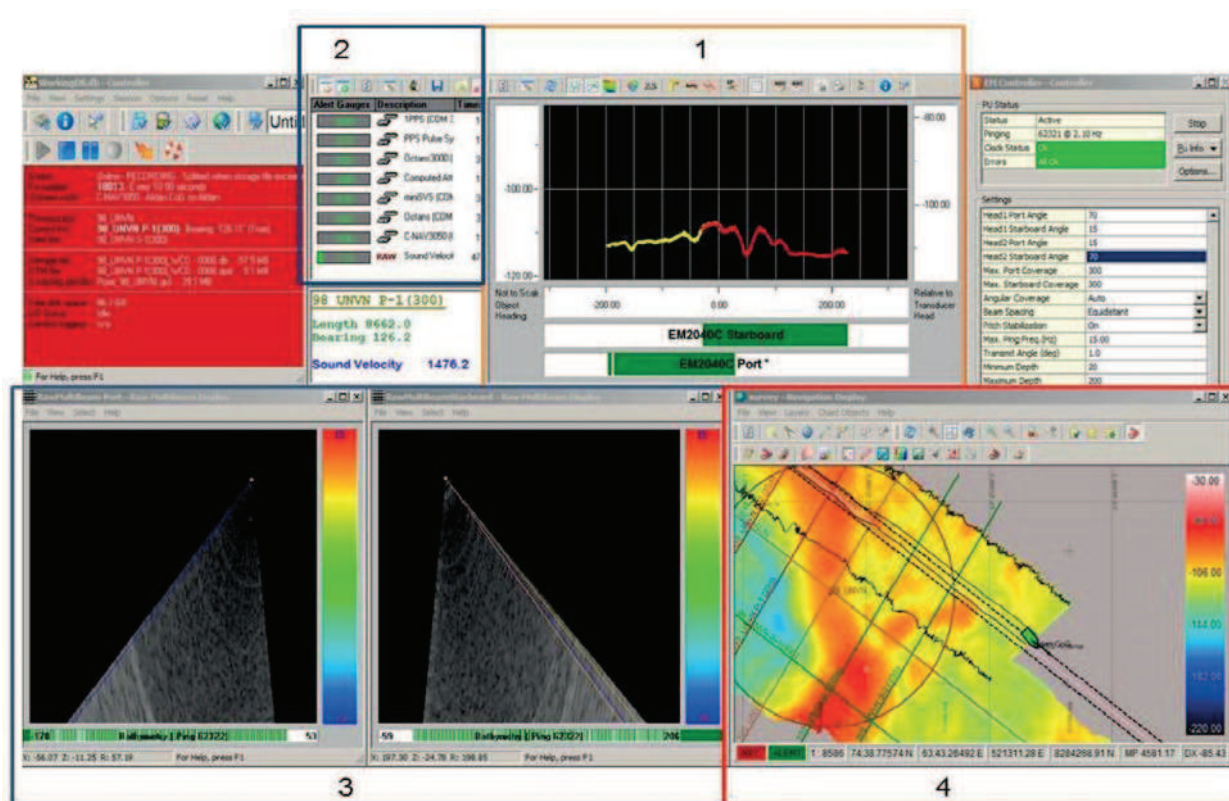


Рис. 3. Экран ЭГИС QINSy батиметрического комплекса на базе МЛЭ EM-2040C (Dual)

Отметим, что в окне 4, показанном на рис. 3, вместе с батиметрической моделью (поверхность дна) могут отображаться дополнительные статистические характеристики регулярной сетки глубин в виде:

- поверхности погрешностей глубин в ячейке грида;
- поверхности, показывающей количество отметок глубин в ячейке.

Каждая из «поверхностей» может отображаться в отдельном окне (Navigation). На рис. 4 представлены регулярные сетки результатов площадной съемки в виде поверхностей: цифровой модели рельефа (а) и погрешностей глубин с доверительной вероятностью 95 % (б) в соответствии с требованиями S-44 [8].

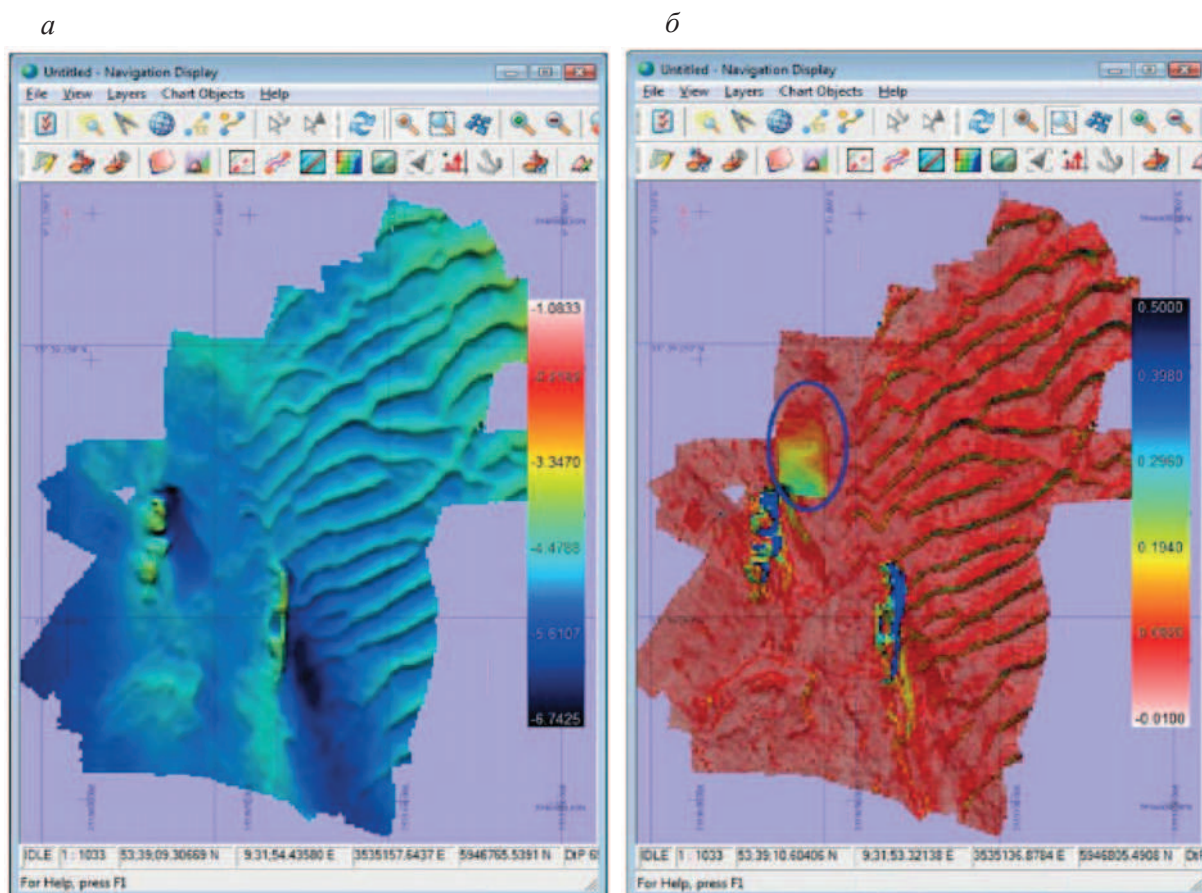


Рис. 4. Представление площадной съемки в реальном времени в виде:
цифровая модель рельефа (а); поверхность погрешностей глубин (95 %) (б)

Визуализация статистических характеристик регулярной модели рельефа дна является полезным инструментом оперативного контроля качества работы комплекса МЛЭ. В дальнейшем эти данные могут использоваться при контроле качества на этапе пост-обработки данных площадной съемки.

В дальнейшем, на этапе пост-обработки данных площадной съемки, модель рельефа и дополнительные статистические характеристики регулярной сетки уточняются.

Методика пост-обработки площадной съемки.

Методика пост-обработки результатов площадной съемки включает следующие этапы.

1. Проверка информации, записанной в файлах первичных данных, и устранение грубых погрешностей (фильтрация):

- измерений сопряженных датчиков;
- батиметрических измерений (расчета глубин, их координат).

2. Исправление измеренных глубин необходимыми поправками: за уровень; за скорость звука в воде; за динамическое заглубление антенн МЛЭ.

3. Окончательная фильтрация каждой глубины, рассчитанной МЛЭ.

4. Формирование регулярной сетки глубин (грида) с обоснованной размерностью; технология формирования грида должна предусматривать наличие в узловой точке грида оценки точности глубины в качестве одного из атрибутов; целесообразной методикой формирования статистически обоснованного грида является технология CUBE (Combined Uncertainty and Bathymetry Estimation), которая основана на преобразовании априорных оценок отметок глубин и их планового положения в апостериорную оценку глубины и ее планового положения в ячейке грида; технология CUBE в русскоязычной литературе рассмотрена, например, в работе [5].

5. Расчет оценки качества съемки путем сравнения глубин по пересечениям основной и контрольной полос обзора МЛЭ.

6. Экспорт результатов съемки в ГИС-форматы, например: xyz, asc, .dwg, dxf, .gsf, bag.

7. Экспорт результатов оценки качества съемки в формат xyz (где Z — погрешность глубины в ячейке грида с доверительной вероятностью 95 %).

8. Создание файла промерного планшета (например, в формате .pdf или .dwg) для обеспечения последующей распечатки на плоттере/принтере.

Оценка качества площадной съемки основывается на двух различных подходах:

— расчет точности путем сравнения глубин грида основной полосы и отметок глубин контрольной полосы обзора МЛЭ;

— анализ величин апостериорных оценок глубины и ее планового положения в ячейках грида батиметрической модели.

Детальное обсуждение оценки качества на этапе пост-обработки выходит за рамки данной статьи.

Методика представления результатов площадной съемки.

Методика представления результатов площадной съемки зависит главным образом от ее целей, а также от используемого специализированного программного обеспечения. Форма представления результатов диктуется задачами съемки. Гидрографические работы, имеющие целью создание навигационных морских карт, представляют, как правило, в виде отчетных планшетов и/или файлов обменного формата S-57. Результаты инженерных батиметрических (топографических) работ обычно представляют в форматах Auto CAD (dwg, dxf). В то время как результаты батиметрических съемок, связанных с ресурсными исследованиями, часто экспортируют в форматы ГИС ArcGIS (ESRI) — asc, и bag.

Результаты оценки качества съемки могут быть представлены в виде растров с изолиниями погрешностей глубин в ячейках грида.

В настоящее время появилось инновационное программное обеспечение, позволяющее интегрировать цифровые модели рельефа, представленные в различных форматах, а также визуализировать результаты съемки в среде трехмерной графики, используя различные методы визуализации. При этом представляются возможности динамического интерактивного просмотра цифровой модели рельефа в формате 3/4D и создания трехмерных анимаций. Один из пакетов программ, позволяющих обеспечить визуализацию результатов площадной съемки рельефа в 3D изображении, рассмотрен в работе [7].

На основе рассмотренной методики контроля качества батиметрической съемки целесообразно разрабатывать «технологические карты» для выполнения настройки комплекса аппаратуры, а также его оптимальной и качественной эксплуатации применительно к типовым условиям съемки. Это позволит гидрографам-практикам единообразно применять программно-технические средства современной электронной гидрографии, а также правильно осуществлять контроль качества батиметрической съемки.

Список литературы

1. СП 11-114–2004. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтепромысловых сооружений. — М.: Изд-во ПНИИИС Госстроя России, 2004. — 88 с.
2. Технология промерных работ при производстве дноуглубительных работ и при контроле глубин для безопасности плавания судов в морских портах и на подходах к ним. РД 31.74.04-2002. — Ростов н/Д: ОАО РЦПКБ «Стапель», 2004. — 134 с.

3. Фирсов Ю. Г. Анализ нормативных документов отечественной инженерной гидрографии / Ю. Г. Фирсов, И. В. Меньшиков // Геодезия и картография. — 2012. — № 4.
4. Фирсов Ю. Г. Анализ методики использования глубоководного многолучевого эхолота ЕМ 122 при выполнении батиметрической съемки в Северном Ледовитом океане / Ю. Г. Фирсов // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. ст. Гос. морской академии. — СПб.: ГМА, 2010. — № 4 (61).
5. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров: учеб. пособие / Ю. Г. Фирсов; ГМА имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: Нестор-ИСТОРИЯ, 2010.
6. www.qps.nl: интернет-сайт фирмы “QPS”.
7. Фирсов Ю. Г. Новые методы пространственной визуализации результатов инженерной батиметрической съемки / Ю. Г. Фирсов, И. В. Кожухов // Вестник ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — Вып. 2.
8. IHO Standards for Hydrographic Surveys / International Hydrographic Organization. — 5th ed. — 2008. — Special Publication № 44.

УДК 910

Г. В. Лебедев,
науч. сотрудник, магистр географии,
ЦНИИ морского флота;

Г. Е. Румянцев,
канд. техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ МОРСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

THE PROSPECTS OF ARCTIC MARINE TRANSPORTATION SYSTEM'S DEVELOPMENT

В статье отмечается значение Арктической зоны Российской Федерации как стратегического региона, богатого полезными ископаемыми, рассматриваются арктическая морская транспортная система и Северный морской путь, связывающий западные и восточные регионы России. Авторы уделяют внимание перспективным проектам ресурсодобывающих компаний в российской Арктике, научным исследованиям и экспедициям.

The article entitled “The prospects of arctic marine transportation system's development” shows importance of the Arctic zone of the Russian Federation as a strategic region, which is rich in minerals, views arctic marine transportation system and the Northern Sea Route, which connects the western and eastern regions of Russia. The authors pay attention to perspective projects of resource companies in the Russian Arctic, researches and expeditions.

Ключевые слова: арктическая морская транспортная система, Северный морской путь, Арктическая зона, транспортно-логистические узлы.

Key words: arctic marine transportation system, the Northern sea route, Arctic zone, transport-logistical centers.



АРКТИКА — важнейший стратегический регион, являющийся зоной интересов не только приарктических государств (России, США, Канады, Дании, Норвегии), но и Европейского Союза и других стран с развитой экономикой, таких как Китай, Южная Корея и Япония [1; 6; 7].