

УДК 551.465

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАРТИРОВАНИЯ ПОДВОДНОГО РЕЛЬЕФА МНОГОЛУЧЕВЫМИ ЭХОЛОТАМИ

© 2003 г. Н. Н. Турко, Г. В. Агапова

Геологический институт РАН, Москва

Поступила в редакцию 16.01.2002 г.

На основе опыта работы с многолучевым эхолотом (МЭ) SIMRAD 12S в статье рассмотрены особенности сбора и обработки данных, источники ошибок, вопросы планирования съемки и даны некоторые методические рекомендации. Вследствие дальнейшего развития работ по многолучевому эхолотированию ставятся вопросы о необходимости сертификации известных систем МЭ, а также разработки стандартной методики обработки промера в зависимости от масштаба и задач картирования.

Многолучевые эхолоты (МЭ) представляют собой аппаратно-программные комплексы, производящие измерения глубин и их представление в цифровой и графической форме по ходу промера, позволяющие проводить пост-обработку данных и построение различных карт. Особенность МЭ состоит в том, что измерения глубин проводятся одновременно несколькими лучами (т.е. в нескольких точках профиля, перпендикулярного оси судна), положение которых строго фиксировано в системе.

С появлением МЭ и спутниковой координации стала возможной детальная съемка и крупномасштабное картографирование рельефа дна.

В 1980 г. всего 10 судов в мире были оснащены МЭ, в 2002 г. МЭ различных конструкций имеют более 730 судов, из них только 14 российских. Исследовательские суда РАН постройки 1984–1987 гг. были оборудованы 15-лучевыми системами ECHOS-625 (НИС “Академик Борис Петров” и НИС “Академик Николай Страхов”) и 60-лучевыми ECHOS XD (НИС “Академик Иоффе” и НИС “Академик Вавилов”), разработанными фирмой Hollming. 15-лучевой эхолот ECHOS-625 позволяет производить промер в полосе шириной 70% от глубины моря.

На начальных этапах внедрения МЭ применительно к эхолотам данного типа в ряде статей [1–4, 6–8] были рассмотрены методические вопросы: факторы, влияющие на точность измерений, синхронизация навигационной и батиметрической информации, планирование съемки, программы обработки данных и построения карт и др.).

С появлением эхолотов нового поколения, в частности, эхолота SIMRAD, (фирма Svendig Technology, Норвегия), выявился ряд новых и методических задач.

На российских судах эхолот SIMRAD (точнее, комплекс глубоководного эхолота EM12S и мел-

ководного EM950) поставлен в 1996 г. на НИС “Геленджик”, (НПО “Южморгео” Министерства природных ресурсов РФ) и в 1998 г. – на НИС “Академик Николай Страхов” (Геологический институт РАН). На НИС “Академик Николай Страхов” комплекс МЭ дополнен профилографом ТОПАЗ, а в 1999 г. мелководный EM950 заменен на EM1000. Полное использование этого комплекса дает возможность одновременно получать не только данные о глубинах, но и сонарные изображения, т.е. амплитуду и/или амплитуду + фазу отраженного от дна сигнала, а также сейсмический разрез верхней части осадочного чехла. В настоящей статье рассмотрен ряд методических вопросов сбора и обработки измерений SIMRADa на основе опыта работы в рейсах НИС “Академик Николай Страхов” и “Геленджик” (в южной и экваториальной Атлантике и Тирренском море).

Эхолот EM12S измеряет глубины по 81 лучу с углом матрицы при вершине до 120° и шириной полосы облучения до 350% от глубины (например, для глубины 4 км – до 14 км). Максимальная ширина полосы – 20 км, т.к. при ее увеличении мощности излучателя недостаточно для уверенного измерения краевыми лучами. Мелководный эхолот EM1000 измеряет глубины по 151 лучу с максимальным углом матрицы до 150° и шириной полосы до 740% от глубины. Поскольку основные работы проходили в глубоководной части океана, в дальнейшем рассматриваются преимущественно данные по EM12S.

Принципиальная схема МЭ SIMRAD состоит из 1) излучающей и приемной антенн, 2) подсистемы излучения, 3) подсистемы приема, включающей приемники сигнала и специальные цифровые процессоры; 4) блока определения дна; 5) операторского блока с интерфейсами для выхода в локальные сети.

Подсистема излучения формирует и излучает сигнал по 81 лучу с частотой, варьирующей от 12.67 до 13.33 кГц. **Подсистема приема** состоит из двух блоков; один из них (Preamplifier Unit) усиливает и обрабатывает аналоговый сигнал, а затем конвертирует его в цифровой и передает в следующий блок (Tranceiver Unit), где происходит расчет компенсации бортовой качки, цифровая фильтрация и вычисление амплитуды и фазы по каждому из 81 луча. В этот последний блок поступают также данные от гирокомпаса и датчиков движения судна, а также данные о скорости звука в воде на глубине антенн эхолота, что важно для вычисления изгиба луча и истинного расстояния измеренной глубины от антенн. Все эти данные передаются в блок определения дна (Bottom Detector Unit – BDU), после чего происходит следующий цикл излучения.

Блок определения дна (BDU) производит перерасчет полученных от Tranceiver Unit т.н. сырых (raw) данных на расстояния до дна по каждому из лучей. Кроме этого, BDU служит для контроля за работой приемо-передающей системы и управления некоторыми ее параметрами. На экране BDU могут быть просмотрены характеристики принимаемого сигнала по каждому из лучей, а также текущие данные датчиков качки по каждому излучению. Как правило, при нормальных условиях приема сигнала (зависящих от погодных условий и характера дна) после установки основных значений BDU работает в автоматическом режиме, находясь под контролем оператора через блок оператора (Operator Unit – OPU).

Операторский блок (OPU), помимо данных, передаваемых из BDU, получает данные навигационной системы, а также либо переданный по локальной сети, либо введенный оператором профиль скорости звука в водной толще. На основе этих данных блок производит окончательный перерасчет расстояний по каждому лучу до дна (range) на значения глубины дна по вертикали и расстояние измеренных глубин вправо и влево перпендикулярно продольной оси судна. С учетом данных навигационной системы рассчитываются координаты каждой из измеренных глубин. Данные о положении, глубине и т.н. образы дна (амплитуда и/или амплитуда + фаза отраженного сигнала) передается по локальной сети в систему сбора информации.

Система МЭ EM12S включает в себя также программное обеспечение для сбора, визуализации и контроля поступающих данных, а также для пост-обработки и построения карт, разработанное для рабочих станций SUN. Текущая информация в виде карты в полосе съемки или сонарных изображений, а также полученные в результате пост-обработки карты и сонарные изображения могут выводиться на плоттер. В связи с большим объе-

мом данных, а также для их резервного копирования, данные, первоначально записываемые на жесткий диск, копируются периодически на внешнее устройство (стример или CD).

Хотелось бы обратить внимание на ряд новых технических решений по сравнению с ECHOS-625: **первое** из них позволяет изменять расстояния между точками измерений глубин вкрест галса. В эхолотах ECHOS-625 глубины измерялись лучами с равными углами между ними. При большой ширине полосы съемки расстояние между измеренными отметками глубин возрастает от центральной части полосы к ее краям. В SIMRADe предусмотрена возможность изменения режима с равноугольного на равнодистантный, т.е. с равными расстояниями между измерениями вкрест галса. Кроме того, оператор может изменять угол матрицы у EM12 со 120° до 105° и 90° , таким образом уменьшая расстояние между точками измерений. Например, на глубинах 4000 м при угле 120° ширина полосы облучения достигает 14 км, а расстояния между измеренными точками около 175 м, а при угле 90° ширина полосы составит 8 км, а расстояния между точками 100 м. Поскольку измерения происходят примерно через 10–12 с, то расстояние между точками вдоль галса меньше (около 50–60 м при скорости судна 10 узлов), и именно расстояниями между точками вкрест галса будет определяться возможный масштаб картирования. **Вторым** техническим новшеством, связанным с большой полосой облучения, явился метод определения времени прихода отраженного сигнала от дна. Ранее оно определялось по наибольшей амплитуде отраженного сигнала. Для краевых лучей SIMRADa, имеющих острый угол падения, это определение может быть неуверенным, в таком случае применяется расхождение фаз, т.е. интерферометрический принцип. Выбор метода определения происходит автоматически. В результате по всем лучам достигается точность измерения глубин, равная по результатам тестирования 0.1% от глубины на плоском дне, и до 0.25% от глубины – на расчлененном дне.

Если ошибки из-за неуверенного определения глубины являются случайными и могут быть отфильтрованы при последующей обработке, то опаснее появление систематических ошибок. Их можно разделить на две группы: связанные 1) с измерением скорости звука в воде и 2) положением матрицы излучения в пространстве.

Скорость звука вводится в систему МЭ в двух видах: скорость звука на глубине антенн эхолота и профиль изменения скорости звука с глубиной.

Скорость звука на глубине антенн эхолота (около 5 м) учитывается электронной системой эхолота для расчета углов между лучами и изгиба лучей. При отсутствии специального дат-

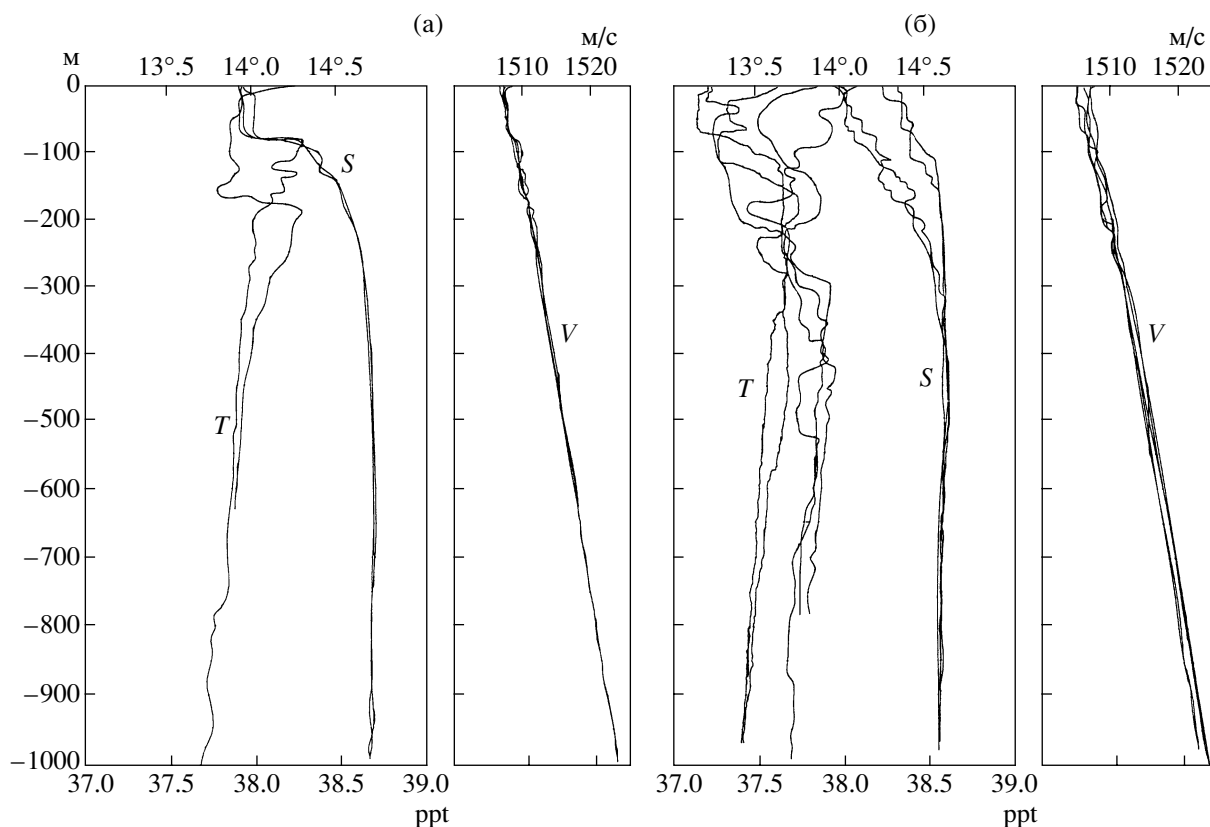


Рис. 1. Профили температуры (T) и солёности (S), измеренные на станциях в юго-западной (а) и северной (б) частях Тирренского моря и расчетный профиль скорости звука в воде (V) по этим профилям.

чика ее значение вводится оператором. Ошибка в ее определении ведет к неправильному расчету углов, а также неправильному определению расстояний до дна. Так, при скорости звука (c) 1500 м/с и ошибке в его значении (Δc), равной 5 м/с, для луча под углом 45° получим ошибку в измерении глубины и расстояния от антенн до дна порядка 3 м на каждую 1000 м глубины, а для краевого луча по углом 60° ошибка в расстоянии составит уже около 6 м/1000 м, а по глубине – 10 м/1000 м. На практике это хорошо видно на участках плоского дна. Если принятая скорость звука в воде меньше истинной, то точке измерения будет приписываться меньшая глубина и меньшее расстояние до оси судна, т.е. на профиле вкрест галса дно вместо плоского будет иметь корытообразную форму. При положительном знаке ошибки профиль будет выпуклым. На неровном дне этот эффект не так заметен и может быть принят за реально существующую форму рельефа.

Аналогичные ошибки возникают и при отклонениях в скорости звука в водной толще в сравнении с реально существующей, только в этом случае ошибка по профилю алгебраически суммируется. Оператором могут вводиться измеренные профили, корректироваться имеющиеся или использоваться табличные данные. Измерения ре-

комендуется делать при начале и конце съемки и изменении гидрологических условий. Для каждой измеренной глубины в соответствии с профилем в эхолоте рассчитывается соответствующая поправка. Как показано выше, особенно существенна она для краевых лучей. Кроме того, как правило, наиболее резко изменяется температура и солёность в верхних 100–140 м водной толщи, до слоя скачка. В отличие от лучей, близких к вертикали, краевые лучи проходят более длинный путь через эту толщу, и на них ошибки сказываются значительно больше.

На рис. 1 видно, что при постоянной солёности суточные изменения в глубине слоя температурного скачка (70–80 м и 160–190 м) приводят в верхних 300 м к разнице в скорости звука 1–2 м/с (а). При значительных вариациях солёности и температуры (б) разница в скорости звука до глубины 200 м доходит до 3–4 м/с, а ниже разница в 1–1.5 м/с сохраняется по меньшей мере до глубины 800 м. Осредненные профили для районов а) и б), использованные в системе эхолота для расчета глубин, также отличаются между собой на 1–2 м/с.

Из сказанного выше ясно, насколько важны измерения скорости звука в течение рейса для батиметрического картирования. Хотя программа

пост-обработки предполагает возможность введения другого профиля скорости звука, на практике это означало бы повторную обработку на берегу всех материалов. Поэтому необходимо в рейсах, особенно проходящих в малоизученных районах, иметь приборы для измерения температуры и солености.

Важным параметром, устанавливаемым оператором эхолота в процессе съемки, является коэффициент абсорбции. Он используется системой эхолота для автоматической установки усиления в приемной системе. Увеличивая этот параметр при плохих погодных условиях или при съемке сильно расчлененного рельефа, можно добиться более уверенного определения дна. Для измерений глубин дна установка данного параметра не вносит ошибку в само измерение. Однако в данных сонара амплитуда отраженного сигнала будет определяться этим параметром так же, как и характеристиками самого дна. Поэтому значения этого параметра должны устанавливаться особенно тщательно, если в процессе съемки идет сбор данных сонара. При частой смене коэффициента абсорбции сравнивать сонарные данные между собой, а особенно с данными, полученными другими исследователями, будет практически невозможно.

Вторая из причин систематических ошибок связана с определением положения в пространстве матрицы облучения (диаграммы направленности). Расчет измеренных глубин и соответствующих им координат основан на данных внешних датчиков, которыми являются спутниковая навигационная система, желательно с приемом дифференциальных поправок (Differential Global Positioning System – DGPS), гирокомпас и датчик бортовой, килевой качки и изменения высоты (pitch, roll, heave), или так называемый Vertical Reference Unit – VRU. Для них при установке параметров эхолота предусмотрено введение поправок измерений (расстояние до антенн, глубина их погружения, запаздывание поступления данных в систему эхолота).

Неправильная установка запаздывания прихода сигнала от навигационной системы означает, что измеренным глубинам будут приписаны неверные координаты, и тогда на двух соседних галсах, пройденных во встречных направлениях, как это чаще всего бывает при съемке, возникнут расхождения в глубинах. На батиметрических картах расхождения проявятся в резком линейном смещении изобат, т.е. в искажении истинных очертаний и размеров форм рельефа. Разделить и сместить при обработке глубины, измеренные по разным галсам, невозможно, т.к. пакет для обработки не предусматривает возможность смещения галсов (изменения времени или координат измерений) для их увязки.

Периодически устанавливается смещение нуля датчиков бортовой и килевой качки с помощью специальной процедуры калибровки. Соответственно неверная калибровка может явиться источником ошибок. При неправильной установке смещения нуля датчика килевой качки (pitch) положение измеренной глубины будет смещено вдоль галса. Неправильным будет и само значение глубины, так как оно рассчитывается по расстоянию до дна. Однако ошибка эта незначительна. Так, на 1000 м глубины при ошибке датчика в 0.1° она будет составлять по расстоянию 1.7 м, а по глубине – 0.15 мм.

Гораздо большее влияние на точность измерений глубин и их положения имеет точность поправки датчика бортовой качки (roll). На 1000 м глубины по лучу, направленному под углом 45° , ошибки в расстоянии по горизонтали и в глубине равны и составляют 1.7 м, а по лучу, направленному под углом 60° , ошибка в определении расстояния останется прежней, а в определении глубины – возрастет до 3 м/1000 м. Для диаграммы направленности эхолота 120° луч, направленный под углом в 60° , при отсутствии крена является краевым. При крене в 15° ошибка по глубине возрастет до 6.5 м на каждую 1000 м глубины. Практически это приводит к тому, что при прохождении соседних галсов в противоположных направлениях ошибка эта удваивается. На батиметрических картах подобные ошибки проявляются на границах галсов в систематическом искажении очертаний форм, а на участках плоского дна – в появлении цепочек ложных поднятий и понижений.

Ошибка датчика высотного положения корпуса судна относительно нулевого уровня (heave) непосредственно входит в значение глубины.

Ошибка в определении истинного курса (heading) отражается в координатах глубин (их смещении вдоль галса – Δx и вкост оси судна – Δy). Отметим, что ошибка в определении курса включает и ошибку гирокомпаса, которая в свою очередь зависит от географической широты и курса судна. Кроме того, на точность измерений гирокомпаса и датчика бортовой качки влияют динамические ошибки, возникающие в результате горизонтальных ускорений, например, при резких поворотах судна. Отсюда можно сделать вывод о желательности прохождения галса по прямой (особенно при работе в высоких широтах) или хотя бы отсутствии резких поворотов.

Частью системы многолучевого эхолота SIMRAD является программное обеспечение, установленное на рабочих станциях SUN: программа сбора данных (Mermaid), программа визуализации и контроля в реальном времени (Merlin) и программа пост-обработки (Neptune).

В систему сбора информации поступают данные по каждому излучению эхолота, т.е. для

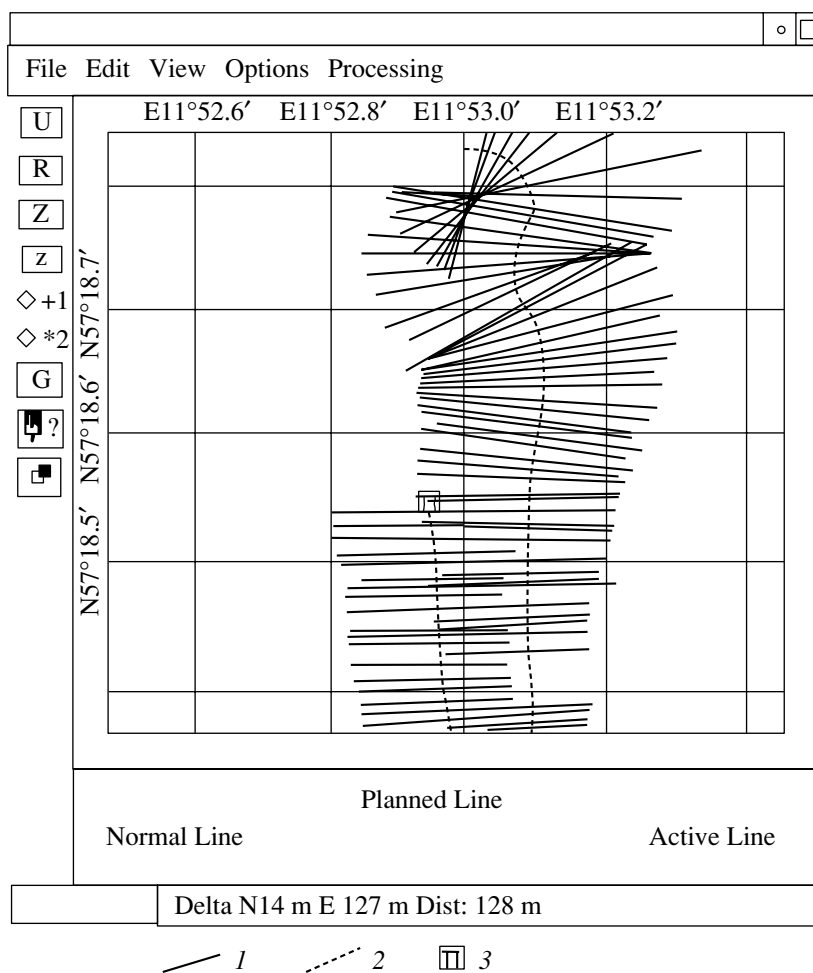


Рис. 2. Визуализация процесса съемки в окне программы Merlin (Simrad12S). 1 – положение линии измеренных глубин; 2 – галсы съемки; 3 – положение судна.

EM12 примерно каждые 10 сек. Общий их объем, включая данные сонара, составляет около 160 Мб в сутки. В установках программы Mermaid оператор задает, какие именно данные будут собираться, на какое устройство и в какую директорию и поддиректорию записываться.

Проконтролировать сбор данных при таком огромном объеме можно только при их визуализации. При работе пакета MERLIN на экране монитора (рис.2) показывается координатная сетка (в географических или проекционных координатах) и по выбору оператора (одновременно или отдельно): 1) галсы съемки, 2) линии измерений глубин, 3) данные измерений – глубины в виде а) точек или прямоугольников с цветной шкалой глубин (автоматической или заданной оператором), б) отметок глубин, в) оттененного рельефа. Может также быть выведена отражательная способность дна, градиенты глубин и другая справочная информация.

Подобная визуализация позволяет видеть выбросы или отсутствие данных по отдельным лучам, контролировать покрытие площади съемки, т.е. перекрытия или промежутки между полосами съемки, и оперативно корректировать курс судна.

В этой же программе возможно планирование работ: прокладка линий галсов и точек поворотов, точек станций, снятие координат и расстояний.

Планирование съемки имеет особенности, связанные с предназначением МЭ главным образом для детальных полигонных исследований, а также с методикой последующей обработки большого массива данных.

Стандартная схема промера при однолучевом эхолоте характеризовалась параллельными галсами, расположенными вкрест простираения линейных структур и крестообразными на изометричных (горах и поднятиях). При работе ECHOS-625 схема промера сохранялась, т.к. изменение полосы съемки было невелико, а между галсами, как правило, оставлялись промежутки. При рабо-

те с SIMRADом существенно изменяется по галсу ширина полосы съемки, особенно в условиях сложного построенного рельефа со значительными колебаниями глубин. Для максимального покрытия площади планирование галсов распадается на две задачи: 1) районирование области съемки на однотипные участки и 2) оперативное планирование галсов в их пределах.

При районировании выбираются участки с одинаковым строением дна и характерным для них диапазоном изменения глубин. Это могут быть склоны материков или крупных структур, зон разломов или рифтовые долины. При работе в Тирренском море были выделены материковые склоны, котловины и склоны отдельных поднятий (хребет Барони). В пределах участков галсы располагают вдоль склонов, что обеспечивает при прохождении более равномерное изменение глубин и соответственно более выдержанную по ширине полосу облучения дна.

Учитывая, что фактические глубины и очертания форм изменчивы, выдержать схему субпараллельных галсов даже на одном участке практически трудно. В проведенных рейсах были применены разные виды планирования:

1) По специальной программе [5] на имеющейся цифровой карте ГЕБКО намечались галсы, по которым рассчитывалась и рисовалась полоса облучения. На основании полученного рисунка галсы смещались так, чтобы обеспечить полное покрытие площади. В условиях реального рельефа между галсами все равно появлялись просветы, закрывать которые приходилось по ходу съемки.

2) Проходилась прямой опорный галс и относительно него рассчитывались все остальные галсы с учетом полученной ширины облучения. Галсы делились на прямые отрезки, а точки поворотов заносились в программу координации промера. Перекрытия старались сократить до минимума или располагать полосы “впритык”. Но даже при небольшом непредвиденном уменьшении глубин ширина полос сокращалась и между ними появлялись “дыры”, которые приходилось потом закрывать дополнительными галсами.

3) Галсы планировались прямыми параллельно или под углом к опорному галсу, при этом площадь перекрытия могла меняться вдоль галса от 0 до 50–70%.

4) Галсы планировались прямыми, но оператор устанавливалась (ограничивалась) максимальная ширина полосы облучения, чтобы сохранить на большей части галса одинаковую ширину. При этом уменьшались трудности при обработке перекрытий, но терялась большая часть информации (обрезались краевые лучи). Время на прохождение галсов затрачивалось больше, т.к. приходилось брать за основу минимальную ширину полосы на возвышенностях. В условиях неизученного

рельефа это все равно не гарантировало от появления “дыр”, которые приходилось закрывать дополнительными галсами.

Выполнение схема промера контролировалось с помощью программы Navigator Professional (разработчик Communication Technology Co, Болонья, Италия), для чего координаты запланированных галсов (точки поворотов) заносились в список Way Points. На экране монитора визуализируются точки и линии галсов, местоположение судна, а также выводится справочная информация (курс, расстояние до начала и конца галса, отклонение от линии и др.). Дублер монитора установлен на ходовом мостике для контроля и оперативной коррекции.

Выбор схемы промера зависит, конечно, от конкретных условий и представляет обычно компромисс между условиями полного покрытия площади, минимального времени на съемку и наименьшего количества поворотов, при которых возрастает возможность ошибок данных. Из вышперечисленных вариантов наиболее предпочтительным можно считать планирование с привязкой галсов к одному опорному с минимальным количеством поворотов на последующих галсах либо, для относительно небольших площадей, прохождение прямых галсов с меняющейся площадью перекрытия. Совершенно недопустимым, на наш взгляд, является вариант с потерей информации, когда из-за трудностей обработки перекрытий ограничивают ширину галсов.

Обработка данных усложнилась в связи с резко возросшим количеством получаемых измерений глубин при внедрении МЭ. При однолучевом эхолоте количество измерений составляло примерно 60/мин по одному профилю, а при работе ECHOS-625 – 60/мин по 15 лучам. Данные последнего обрабатывались на ЭВМ и выводились в виде батиграмм, т.е. батиметрической карты полосы съемки. Результаты площадной съемки (полигоны) также могли обрабатываться с помощью различных программ, общим для которых является расчет изобат в результате интерполяции глубин, рассчитанных для узлов регулярной сетки (грида).

На практике для охвата большей площади дна съемка проводилась с промежутками между галсами. Были проведены многочисленные методические работы, при которых на разных типах рельефа съемка выполнялась со сплошным покрытием площади, перекрытием полос облучения и различными расстояниями между галсами. Оптимальным является сплошное покрытие. Допустимым была признана съемка с межгалсовыми промежутками в S ширины полосы облучения, при которой, как правило, применялся метод комбинированного составления карт, заключающийся в интерполяции изобат между полосами съемки

вручную. Сейчас эти карты требуют повторной обработки для перевода их в цифровую форму.

Количество данных SIMRAD EM-12M больше, чем у ECHOS-625, примерно в 5.5 раз, а плотность данных – примерно в 1.5 раза. Естественно, различие между плотностью данных в полосе съемки и за ее пределами еще более усугубляется, а съемка с разрежением галсов приводит к существенной потере информации и точности карты. Практически обработка данных и составление карт должно вестись по результатам съемки SIMRADом со сплошным покрытием площади дна. В инструкциях SIMRADA рекомендуется проводить съемку примерно с 10% перекрытием с каждой стороны полосы. В связи с тем, что наибольшие ошибки возникают на краевых лучах, обработка стыков галсов и особенно участков их перекрытия представляет наибольшую трудность.

Обработка данных производится пакетом программ Neptune и включает три основных этапа: **коррекцию навигации, коррекцию глубин и чистку данных.** Начальным шагом в них является автоматическая фильтрация. Например, для фильтрации навигационных данных можно установить максимальную скорость судна, дистанцию и другие параметры, при превышении которых данные не будут учитываться. При необходимости можно задать для отдельных отрезков дополнительные параметры фильтрации или удалить точки отскоков вручную. Важно, что при всех процедурах обработки отбрасываемые данные не уничтожаются, а помечаются как неиспользуемые, что позволяет вернуться к их обработке. В Тирренском рейсе использовалась дифференциальная GPS, где суммарная ошибка в положении судна не превышала 1 м, поэтому исходные навигационные данные практически не нуждались в фильтрации. В случае использования обычной системы с меньшей точностью (40–50 м) коррекция положения судна существенно усложняется и большое количество точек будет отброшено. Вместе с координатами точки или отрезка удаляется и связанный с ним массив глубин, т.е. появляются пробелы в съемке.

Коррекция глубин может проводиться как для всего массива данных, так и отдельных ее участков. Можно отредактировать, например, профиль скорости звука или ноль датчиков качки и получить другие значения глубин.

Чистка данных ведется в пределах отдельных листов или т.н. блоков съемки. Разбивка на блоки выбранной площади происходит автоматически по заданному количеству точек в каждом из блоков (обычно 200000–500000). Ясно, что при таком огромном количестве данных возможна только статистическая обработка.

Каждый из таких блоков разбивается на ячейки, для которых статистически рассчитывается

некая плоскость, называемая плоскостью наибольшего соответствия глубин. Отношение величины отклонения измеренной глубины от этой плоскости к глубине самой плоскости называется шумом и может быть задано как один из параметров автоматической фильтрации. Дальнейшая фильтрация является самой трудоемкой процедурой обработки и сводится к удалению ошибочных значений глубин. Эти значения разыскиваются путем попарного сопоставления нескольких параметров (глубина, расстояние, номер луча, средняя глубина, уровень шума, отклонение от площади наибольшего соответствия и т.д.).

Результатом работы являются т.н. XYZ файлы, которые представляют список значений широты, долготы и глубины для каждой точки. Они передаются в другие программы (в наших рейсах это были IRAP GeoSea и более поздняя версия Cfloor) для создания батиметрической карты по обычной процедуре: расчета значений в узловых точках сетки (грида) и интерполяции значений между ними.

Подводя итог вышесказанному, следует еще раз подчеркнуть, что МЭ являются мощным инструментом исследования и батиметрического картирования дна океана. Наиболее рациональной методикой при его использовании является съемка со сплошным покрытием площади.

Повышенные требования предъявляются к точности навигационной системы, гироскопа и датчиков качки (особенно бортовой). Особенное внимание должно уделяться измерениям скорости звука на глубине антенн эхолота и по разрезу водной толщи, особенно в малоизученных районах.

Для успешного сбора и первичной обработки данных требуется квалифицированный обученный персонал, имеющий опыт работы с операционной системой UNIX и представление о системном администрировании. Наиболее важным и трудоемким этапом обработки, от которого зависит качество получаемой карты, является редактирование первичных данных для последующего получения грида. В связи с этим для окончательной обработки данных на берегу требуется вычислительная техника достаточной мощности (рабочая станция) с лицензионным обеспечением, в том числе дополнительной копии программы Neptune для переобработки данных в случае необходимости.

С развитием МЭ расширяется и круг методических задач: 1. Для использования данных МЭ в научных исследованиях и морском картографировании, необходимо создание методической базы в виде сертификации различных систем МЭ в России и разработки национальной инструкции по промеру.

2. Для использования данных МЭ в процессе создания международных цифровых карт долж-

ны быть унифицированы некоторые требования (размер ячейки грида, сглаживание и т.п.). При отсутствии такой унификации потребуется в каждом отдельном случае и для каждой отдельной карты проводить повторную переобработку для сводки уже имеющихся карт.

3. Получение одновременно с данными батиметрии данных сонара открывает дополнительные возможности для картирования донных осадков и поверхностей геоморфологических объектов (присклоновых шлейфов, уступов – выходов твердых пород). Дальнейшее расширение таких возможностей требует методических работ с сопоставлением данных разных методов.

Работа выполнена в рамках подпрограммы “Исследование природы Мирового океана” Федеральной целевой программы “Мировой океан”, реализуемой Минпромнауки России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агапова Г.В.* О некоторых аспектах составления батиметрических карт по данным многолучевого эхолотирования // *Океанология*. 1992. Т. 32. № 2. С. 362–372.
2. *Удинцев Г.Б., Одинокоев Ю.Ю., Голод В.М.* Многолучевое эхолотирование – опыт и перспективы применения в морской геоморфологии // *Океанология*. 1987. Т. 27. № 3 С. 495–505.
3. *Abich G., Fellerer R., Fritsch J. et al.* Geowissenschaftliche und rohstoffwirtschaftliche Erprobung des Multi-Echolotos Sea-Beam in zentralparifischen Seegebieten mit MS SONNE (20–21). Hannover, Sonlussbercht, 1983. 117 p.
4. *Desnoes Y.* Off-line contouring of the date from the multi-beam // *Inter.Hydr.Rev.* 1980. V. 57. № 1. P. 55–77.
5. *Ligi M., Bortoluzzi G.* Plotmap, geophysical and geological application of good standart quality cartographic software // *Cmput. and Geosci.* 1989. № 15. P. 519–585.
6. *Renard V., Allenou J.P.* Sea-beam multibeam echosounding in “Jean Charcot” – Discription, evaluation and first result // *Inter. Hydr. Rev.* 1979. V. 56. № 1. P. 35–69
7. *Shenke H.W., Ulrich J.* Mapping of the seafloor // *J. Geophys. Res.* 1986. V. 91. № B3. P. 3331–3520.

Methodical Features of the Seafloor Mappingby Multibeam Echosounders

N. N. Turko, G. V. Agapova

The specific of data asquisition and processing, and errors sources and planning of survey as well, are discussing in the paper on the basis of work experience with SIMRAD 12S multibeam (MB) echosounder. Some methodical recommendations are provided. Problems of certification for different MB systems in use and elaboration of standart methodics of data processing in connection with scale and task of mapping are arising as consequence of further progress of multibeam mapping.