АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1999, том 45, № 2, с. 190–194

УДК 534.24,534.87,551.463,621.391

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ВОДОЕМАХ

© 1999 г. **В. И. Воловов, А. И. Говоров**

Акустический институт им. Н.Н. Андреева РАН
117036, Москва, ул. Шверника, 4
e-mail: bvp@akin.ru

Поступила в редакцию 06.05.98 г.

Экспериментальными данными, полученными в натурных условиях, иллюстрируется возможность акустического мониторинга состояния основания плотины на одной из сибирских рек с использованием гидролокатора бокового обзора (ГБО). Представлено гидролокационное изображение тела плотины, показана взаимосвязь полученной информации с особенностями строения сооружения и обозначены те из них, которые подлежат контролю. Приведены также примеры изображения трубопроводов и затопленного русла ручья.

В последние годы резко возрос интерес к использованию гидролокаторов бокового обзора (ГБО). Гидролокаторы бокового обзора как средство для картографирования дна океана стали применяться с конца 50-х годов. По способу их применения ГБО делятся на мелководные, глубоководные и глубоководные приповерхностные; по виду эксплуатации – на встроенные в корпус судна и буксируемые; по специфике решаемых задач – на геологические, для поисково-спасательных работ и специальные. Существующие системы характеризуются большим разнообразием по техническим характеристикам, способам обработки и консервации информации и т.д. Наряду с чисто боковым обзором дна, когда развертка изображения осуществляется исключительно за счет движения носителя, находит применение т.н. круговой (азимутальный) обзор, осуществляемый, как правило, механическим сканированием антенны, а также смешанный азимутально-боковой обзор [1–4] и др. Использованию ГБО для исследования дна посвящена обширная литература. В качестве примера успешного их применения можно указать весьма сложную задачу поиска и разведки месторождений железо-марганцевых конкреций в глубоком океане [5–7].

Заметим, что сложность интерпретации данных, получаемых гидролокаторами бокового обзора, заключается в первую очередь в том, что регистрируемые изменения амплитуды рассеянного дном сигнала могут быть обусловлены как наличием неровностей, так и изменением характера "шероховатости" дна, а также изменением физических свойств грунта или совокупностью влияния всех факторов. Разделить их достаточно сложно, хотя в последнее время и предпринимаются попытки создания специальных ГБО, позволяющих выделить профиль дна в "чистом" виде в направлении зондирования и автоматически выровнить масштабы по осям изображения [8, 9]. Дополнительные сложности обусловлены тем, что "акустическая реакция" какого-либо участка дна зависит от ракурса, под которым он наблюдается. Несмотря на имеющиеся сложности, существуют, однако, и постоянно совершенствуются методики картографирования дна по данным съемки ГБО и ее идентификации с реальным дном, посредством дешифровки исходной информации [1, 4, 6, 8–10] и др.

Наиболее интенсивные исследования на мелководье проводились в 70–80 годах, и было показано, что ГБО могут быть с успехом применены для получения информации о подводной ситуации, рельефе дна и для решения практических и научно-технических задач, возникающих в связи с хозяйственной деятельностью человека. Среди них можно выделить в первую очередь акустическое картографирование дна [2, 9, 11], в частности, с целью мониторинга гидротехнических и других искусственных сооружений, а также выявления геологических особенностей строения дна [12–15].

В качестве примера использования мелководного ГБО при акустическом мониторинге состояния гидротехнических сооружений рассмотрим гидролокационную съемку основания плотины, проведенную нами на одной из сибирских рек. В общем случае, плотины представляют собой гидротехническое сооружение, перегораживающее реку или другой водоток для подъема уровня воды перед ней, сосредоточения напора в месте расположения сооружения или создания водохранилища. Плотина может быть глухой, лишь преграждающей течение воды, и водосбросной, предназначенной для сброса избытка воды. По основному

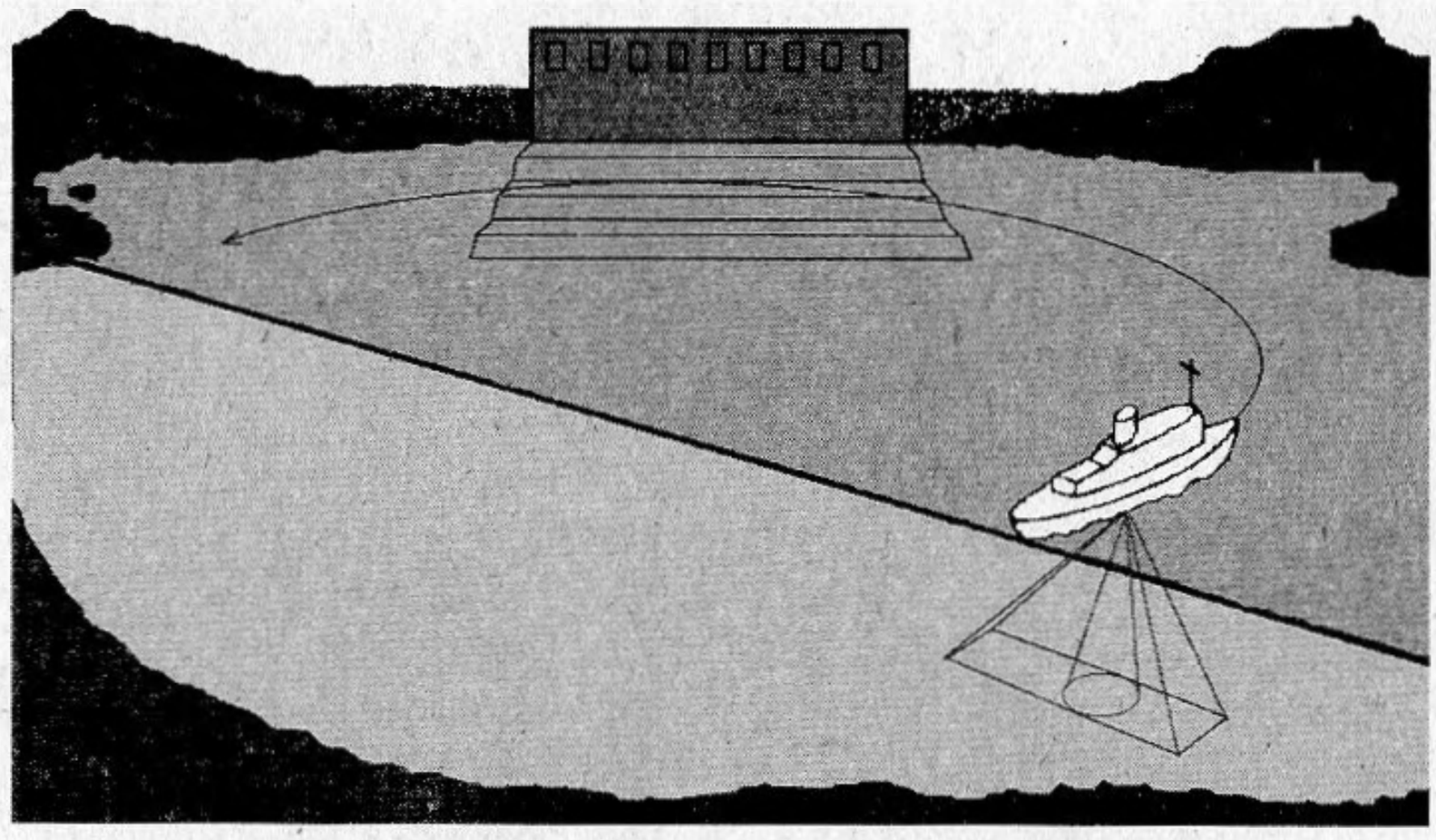

Рис. 1. Схематическое изображение плотины и трасса движения судна при съемке.

материалу плотины различают на земляные, каменные, бетонные, железобетонные, деревянные и др.

Специфика возведения такого рода гидротехнических сооружений заключается в том, что основание плотины имеет у дна наибольшую ширину, и ее тело формируется отдельными слоями (ярусами), постепенно сужающимися по мере приближения к урезу воды. В результате этого образуется квазирегулярная ступенчатая структура сооружений, выгнутая по направлению течения, которая схематично изображена на рис. 1, где представлена также и схема проведения работ. При современной высоте плотин напор воды на них весьма значителен, что вынуждает придавать плотинам большие размеры в поперечном сечении. Особенно опасным для плотин является просачивание воды под основание, что может привести к размыву его и разрушению плотин. Поэтому на выбор основания под плотиной, на прочную связь с ним плотины, а также на контроль за его состоянием обращается особое внимание. В процессе эксплуатации происходит вымывание материала из ее основания, деформации ступенчатой структуры и общее уменьшение ее толщины. Эффективный контроль за этими процессами и составляет цель гидроакустического мониторинга.

Рассматриваемая плотина представляет собой многоярусное насыпное гравийно-земляное сооружение длиной около 250 м, построенное для создания водохранилища и обеспечения функционирования гидроэлектрической станции. При проведении обследования глубина у верхнего бьефа плотины составляла примерно 80 м. Для аварийного спуска воды в теле плотины предусмотрен водосбросовый шлюз, прорезающий ее тело насквозь.

Обследования проводились с помощью специального мелководного гидролокатора "ОПГ", разработанного и изготовленного в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК), использовавшегося в навесном варианте. Основным отличием данного гидролокатора от аналогов является наличие в составе гидроакустического оборудования узколучевого эхолота, позволяющего уверенно измерять глубину места по трассе движения судна-носителя. Гидролокатор характеризовался следующими техническими данными:

рабочая глубина, м	до 100
частота излучения, кГц	130–150
гидролокатор	
эхолот	100–110
ширина диаграммы направленности, град. гидролокатор:	
вертикальная плоскость в направлении зондирования	80
горизонтальная плоскость	1.5–1
эхолот	7 × 7
частота следования посылок, Гц	1, 1.5, 2
длительность посылок, мкс	100
максимальные значения наклонных дальностей (один борт), м	187.5, 250, 375
последовательность работы с разных бортов	поочередно
тип носителя информации	ЭХБ, магнитный

Траектория движения судна при съемке отмечена на рис. 1 пунктиром, а на рис. 2 показан гидролокационный снимок, полученный с одного из бортов при обследовании плотины со стороны

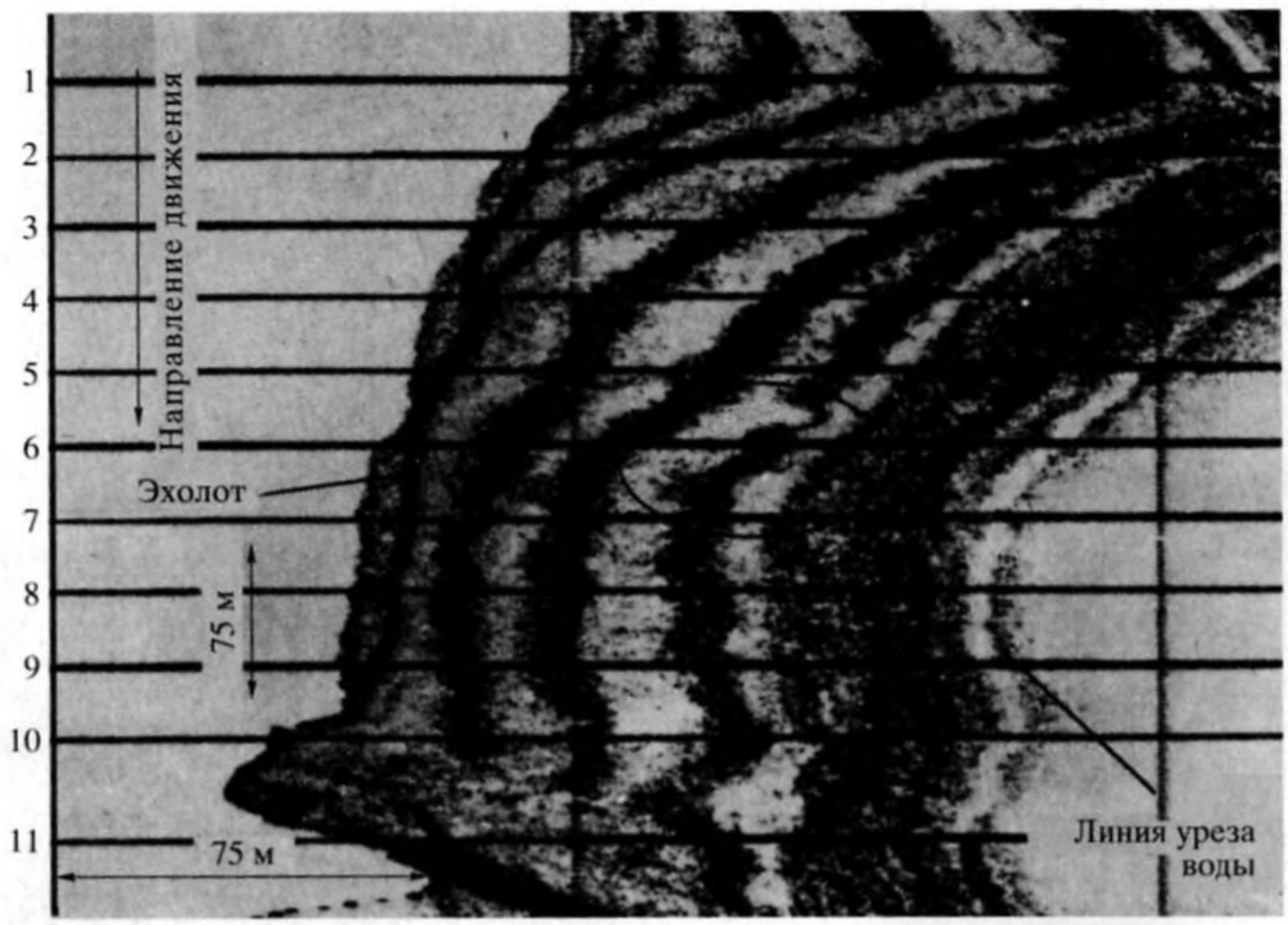

Рис. 2. Гидролокационное изображение тела плотины. Временные отметки пронумерованы по мере движения судна.

водохранилища и при движении судна по дуге, выгнутой в сторону плотины. Диапазон наклонных дальностей составлял 0–375 м. Горизонтальные линии на снимке представляют собой служебные оперативные отметки, наносившиеся с периодом 30 с. Кроме этого в изображение вводилась эхолотная запись. Измерения проводились при малых скоростях движении судна; большая часть галса приходилась на циркуляцию. Выгнутость тела плотины в сторону водохранилища, которая видна на записи, является кажущейся и обусловлена дугообразной траекторией движения судна, когда ее прибрежные участки находятся на большем расстоянии от судна, чем центральные. Так как определения местоположения судна на галсе не проводилось, представленная съемка не имеет высокоточной картографической привязки.

На записи отчетливо прослеживаются горизонтальные участки в основании плотины шириной ~12 м (светлые полосы) и откосы (темные полосы) уступов высотой ~8 м, в районе отметки 12 виден водосбросовый шлюз, четко обозначена линия уреза воды. Ввиду того, что галс проходил по откосу нижнего уступа плотины и минимальным оказалось время распространения сигнала до и от него, линия глубины, зарегистрированная эхолотом, в данном случае практически всегда находится внутри гидролокационного изображения тела плотины. На записи можно также отметить особенности в форме отдельных уступов (например, в районе отметки 6). Это может быть связано как с отступлениями от проекта во время строительства, так и с возможным разрушением тела плотины под действием внешних факторов.

Сравнение результатов гидролокационного обследования, разнесенных на значительный промежуток времени (месяцы, год) и проведенных по одной и той же трассе, дает возможность оценить состояние тела плотины и проследить, если такое имеется, динамику разрушения плотины, на основании чего дать рекомендации о проведении ремонтных работ или о возможности ее дальнейшей эксплуатации. Для этого, естественно, требуется детальная проработка методики съемочных работ, включая навигационное обеспечение, решения вопросов дешифрования гидролокационных изображений и построения макетов и планов плотины. Принципиальная возможность выполнения такого вида работ не вызывает сомнений, а эффективность использования гидролокаторов по сравнению с другими видами обследования, например, водолазным, очевидна.

Значительный интерес представляет применение ГБО при производстве работ по прокладке подводных коммуникаций, таких как нефте- и газопроводов, линий связи и т.п., что неоднократно отмечалось и иллюстрировалось рядом авторов. При этом ГБО целесообразно использовать как на стадии изыскательских работ по трассе будущих сооружений при их прокладке, так и в процессе эксплуатации. При изыскательских работах по ре-

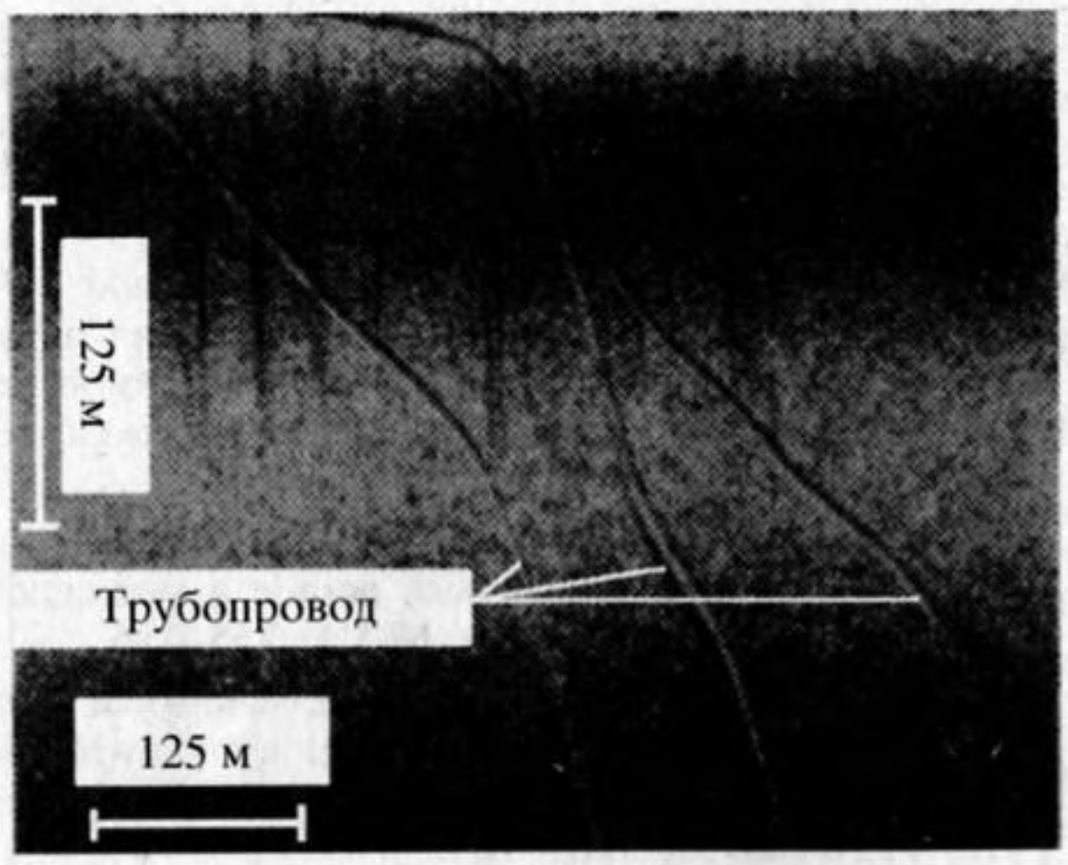

Рис. 3. Фрагмент гидролокационного изображения дна с подводными коммуникациями.

зультатам гидролокационного обследования выбирается трасса будущей магистрали на дне с учетом типа грунтов, форм рельефа, выявленных выходов скальных пород. На этапе производства работ ГБО дает возможность контролировать профиль траншеи, состояние ее склонов, положение, например, трубопровода на дне траншеи, а также качество засыпки ее грунтом. В процессе эксплуатации с помощью ГБО могут быть выявлены размытости траншеи, возникновение наносов на трассе магистрали, а также выявлены места ее повреждения, например, разрывов (по просачиванию нефти или газа), деформации и др.

Подводные трубопроводы и кабели проявляются на гидролокационном изображении, как правило, в виде темной полосы, за которой наблюдается более широкая полоса светлого тона, представляющая собой акустическую тень. Типичный вид подводного трубопровода на гидролокационном изображении показан на рис. 3, полученном на одном из внутренних водоемов [12]. Частично заиленные трубопроводы проявляются в виде прерывистых линий, а погребенные под слоем осадочных пород можно распознать по конфигурации гряды, образовавшейся над трубопроводом. Отмечены случаи изображения на гидролокационном снимке трубопроводов, покрытых слоем наносов толщиной до 80 см. Можно предположить, что трубопровод в таких случаях был покрыт водонасыщенными илами, через которые практически без ослабления могли проходить зондирующий и отраженный акустические сигналы.

Качество и четкость изображения подводных магистралей во многом зависят от их ориентации относительно направления движения носителя гидролокатора. Наиболее четкие изображения получаются при движении судна вдоль трассы подводной магистрали. Если курс судна пересекает трассу под прямым углом, изображение может пропасть вообще или проявится в виде тонкой прерывистой линии без характерной зоны тени. Естественно возникает вопрос о возможных точностях определения местоположения магистралей в пространстве. По оценкам специалистов по морской геодезии данная погрешность позволяет наносить трассы подводных магистралей на карты вплоть до масштабов 1 : 10000, причем основной вклад вносят ошибки определения координат движущегося судна [13].

Перспективно также использование ГБО для контроля состояния дна водоемов и его мониторинга, в частности, для изучения закономерностей осадконакопления. Наиболее успешно в этом смысле наблюдение за естественными хорошо дешифрируемыми на гидролокационных снимках формами рельефа, например, грядами, рытвинами, промоинами, руслами затопленных рек и ручьев и т.п. [14, 15]. В качестве примера такого рода форм на рис. 4 приведен полученный нами гидролокационный снимок дна водохранилища с хорошо просматривающимся руслом затопленного ручья. Вопрос о заиливании акватории ре-

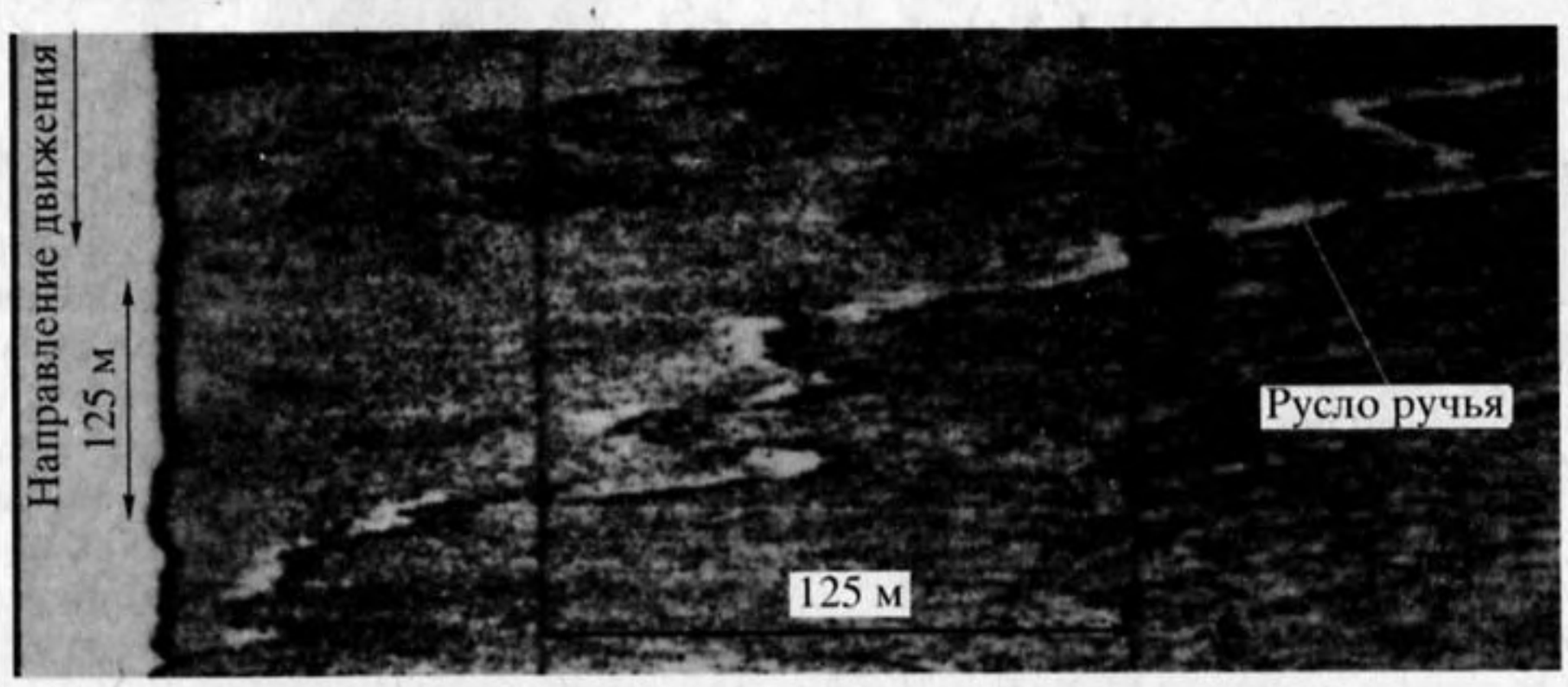

Рис. 4. Гидролокационное изображение дна с затопленным руслом ручья.

шается путем сравнения разнесенных во времени снимков одной и той же площади дна.

Из других областей эффективного использования акустического мониторинга дна с помощью гидролокаторов бокового обзора можно указать следующие:

– подводное строительство (сооружение гидротехнических объектов, отслеживание скорости формирования наносов) и т.д.;

– гидрография (обследование межгалсовых площадей, гаваней, каналов и фарватеров, выявление подводных препятствий);

– выявление затонувших и аварийных объектов (опознаются по тону изображения и тени);

– рыболовство (опознаются поднятия рельефа, рифы, остатки строительных конструкций и определяется возможность применения придонных сетей, тралов и т.д.);

– подводная археология (поиск сооружений, опустившихся на дно моря в результате тектонических нарушений земной коры).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богородский А.В., Яковлев Г.В., Корепин Е.А., Должиков А.К.* Гидроакустическая техника исследования и освоения океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 264 с.
2. *Clifford P.* Real time seafloor mapping. // Sea Technol. 1979. V. 20. № 5. P. 22–24.
3. *Andrews J.E., Humphrey P.B.* Swathmap: Long range side-sonar mapping of deep sea-floor. // Mar. Geol. 1980. V. 4. № 2. P. 141–159.
4. *Riyati V.S., Lawlor M.A., Adams A.E., Hintin O.R., Sharif B.S.* A Review of the ACID synthetic aperture sonar and other sidescan sonar systems. // The Intern. Hydr. Rev. 1995. V. 72. № 1. P. 115–124.
5. *Житковский Ю.Ю., Захлестин А.Ю., Каевицер В.И.* Акустический метод обнаружения железо-марганцевых конкреций / В кн. Железо-марганцевые конкреции центральной котловины Индийского океана. М.: Наука, 1989. С. 181–189.
6. *Антокольский Л.М., Бунчук А.В., Воловов В.И. и др.* Полигонные исследования рассеяния звука дном с конкрециями с помощью приповерхностного гидролокатора бокового обзора // Океанология. 1989. Т. 29. № 5. С. 748–754.
7. *Hugett O.J., Somers V.L.* Possibilites of using of GLORIA system for manganese nodule assessment // Mar Geophys. Res. 1988. V. 9. № 3. P. 255–256.
8. *Ollivier F., Cerbenka P., Alias P.* Side-scan sonar using phase arrays for high resolution imaging and swath batimetry // IEEE Proceedings radar, sonar and navigation. 1996. V. 143. № 3. P. 163–165.
9. *Debigh P.N.* Stereoscope visualization and countor mapping of sea bed using a bathymetric sidescan sonar // Radio Electron. Eng. 1983. V. 53. № 7, 8. P. 301–307.
10. *Hines P.S., Barry,P.J.* Measurements of acoustic backscatter form Sohm abissal plain //J. Acoust. Soc. Amer. 1992. V. 92. № 1. P. 315–323.
11. *Воловов В.И., Говоров А.И.* Новые подходы к акустическому картографированию дня океана // Акуст. журн. 1997. Т. 43. № 4. С. 476–485.
12. *Говоров А.И., Деминский А.А., Малахов Б.М.* О применении обзорнопоискового гидролокатора // Геодезия и картография. 1982. № 5. С. 32–37.
13. *Хигер И.С.* О точности определения координат подводных трубопроводов // Научно-технический реферативный сборник ЦНИИГАиК. № 104. М., 1984. С. 33–35.
14. *Воловов В.И., Говоров А.И.* Влияние песчаных гряд на отражение звука от дна в шельфовых районах океана // Акуст. журн. 1988. Т. 44. № 3. С. 354–358.
15. *Долотов С.А., Каевицер В.И., Разманов В.М.* Об одной особенности съемки рельефа дна интерферометрическим гидролокатором бокового обзора // Акуст. журн. 1997. Т. 43. № 4. С. 559–562.

Implementation of the Acoustical Monitoring of Underwater Engineering Structures in Bodies of Water

V. I. Volovov and A. I. Govorov

A possibility of the acoustical monitoring of the state of a dam base is illustrated by the full-scale experimental data obtained with a sidescan sonar for a dam on a Siberian river. The sonar image of the dam body is presented, the relation between the information obtained and the structural features of the object under study is revealed, and the features to be controlled are specified. Additionally, examples of images are presented for an underwater pipeline and a flooded bed of a rivulet.