

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ
ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ
ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ ЗАМЕРЗАЮЩИХ МОРЕЙ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

д-р техн. наук А.В.БОГОРОДСКИЙ¹,
д-р физ.-мат. наук Г.А.ЛЕБЕДЕВ²

¹ Концерн «Океанприбор», г. Санкт-Петербург, e-mail: mfp@mail.wplus.net

² ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, e-mail: lebedev@ari.nw.ru

Выполнен анализ существующих гидроакустических средств (ГАС), которые могут быть использованы для обнаружения и оценки морфометрических характеристик подводных частей опасных ледяных образований (ОЛО) типа айсбергов, стамух, торосов, взаимодействие которых с морскими сооружениями может привести к повреждению или разрушению последних. Показано, что для мелководных районов шельфовой зоны, при установке ГАС непосредственно на гидротехнических сооружениях, дальность обнаружения ОЛО и оценки их подводных частей принципиально ограничены 2,5–3,0 км, что не обеспечивает требуемую зону безопасности (в радиусе не менее 100 км).

Для мониторинга ОЛО в пределах зоны безопасности определена структура использования ГАС, входящих в систему гидроакустического канала получения информации об ОЛО, включающая: рубежную систему дальнего (более 100 км) обнаружения ОЛО и систему ГАС, устанавливаемых на автономных необитаемых подводных носителях.

Ключевые слова: гидроакустические системы, ледяные образования, мониторинг, гидротехнические сооружения, безопасность, система наблюдения.

Успешное освоение углеводородных ресурсов шельфовой зоны замерзающих морей требует создания новых технологий, технических средств и сооружений в морском ледостойком исполнении; разработки новых технологий обнаружения, слежения, прогнозирования и воздействия на опасные ледяные образования (ОЛО) — айсберги, стамухи, торосы, т.е. такие, взаимодействие которых с морскими сооружениями может привести к повреждению или разрушению последних. Не подлежит сомнению, что для обеспечения своевременного обнаружения и последующего получения непрерывной и достоверной информации о характеристиках ОЛО целесообразно комплексно использовать вместе с уже традиционными (аэрокосмическими) каналами получения информации об ОЛО, также и гидроакустический канал. От того, насколько полной и достоверной окажется информация, поступающая по этим каналам, в конечном счете будет зависеть снижение риска эксплуатации морских сооружений, экологическая безопасность районов работ и безопасность жизни людей. Для этого необходимо, чтобы при работе на месторождении была организована в радиусе не менее 100 км от гидротехнического сооружения система наблюдений за движением ОЛО, их размерами и массой.

Следует отметить, что указанные основные задачи, решение которых должны обеспечивать гидроакустические средства (ГАС), входящие в состав гидроакустического канала получения информации об ОЛО, не являются принципиально новыми. К настоящему времени прикладной гидроакустикой накоплен значительный научно-технический опыт, позволяющий создавать гидроакустические средства освещения ледовой обстановки из-под воды применительно к подводным обитаемым носителям (подводным лодкам и подводным аппаратам), которые в известной степени обеспечивают решение названных задач в интересах подледной навигации. В этой связи при исследовании возможности использования гидроакустических средств для обнаружения ОЛО и оценки морфометрических характеристик их подводных частей, применительно к обеспечению безопасности гидротехнических сооружений, целесообразно использовать научно-технический и практический опыт создания и эксплуатации ГАС.

Физические основы для создания специализированных ГАС освещения ледовой обстановки и интерпретации получаемой ими информации заключаются в особенности акустических свойств морского льда на различных стадиях его существования — от тонкого молодого льда на поверхности разводий до многолетних паковых льдов и айсбергов [3].

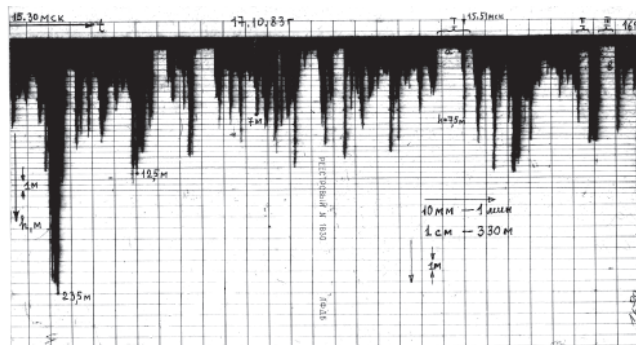


Рис. 1. Фрагмент эхоледограммы

К техническим средствам гидроакустического наблюдения, которые в той или иной мере могут быть использованы для решения задач обнаружения ОЛО и определения их морфометрических характеристик, можно отнести следующие: эхоледомеры (акустогидростатический и гидроакустический); гидроакустические станции бокового и кругового обзора; многолучевые эхолоты; гидроакустические станции обнаружения айсбергов; гидроакустические станции получения трехмерных изображений объектов; радиогидроакустическая система предупреждения об айсбергах. Использование указанных ГАС, при их установке на подводных носителях, позволяет получать рельеф нижней поверхности ледяного покрова и его толщину с достаточно высокой точностью. Фрагмент эхоледограммы, полученной с советского подводного корабля при его плавании по прямолинейному маршруту на глубине 150 м, представлен на рис. 1 [5].

Характеристики подобного рода могут быть получены также при регистрации движения ледяного покрова относительно неподвижного эхоледомера, установленного на дне и имеющего характеристику направленности, ориентированную вертикально вверх [11]. Подобный эхоледомер позволяет вычислять осадку льда Z_{ice} (здесь и далее под соответствующим параметром льда подразумевается его оценка) в точке, находящейся над его акустической антенной, в соответствии с выражением [2]

$$Z_{ice} = H_{ni} - r_p, \quad (1)$$

где H_{ni} – глубина погружения i -ой акустической антенны эхоледомера, вычисленная по результатам оценки глубины погружения некоторой точки корпуса объекта, принятой за точку отсчета; r_i – кратчайшая дистанция между акустической антенной и границей раздела вода–лед в точке зондирования. Вычисление r_i осуществляется по формуле

$$r_i = r_i' \cos \theta \cos \psi = \frac{t_i c}{2} \cos \theta \cos \psi, \quad (2)$$

где r_i' – определенная по времени запаздывания дистанция до нижней кромки льда от i -ой антенны; c – значение средней по трассе распространения скорости звука; θ, ψ – значения углов крена и дифферента объекта в момент зондирования; $i = 1, 2, \dots$ – номер антенны.

Как следует из выражения (1), осадка льда вычисляется как разность между глубиной погружения акустической антенны гидролокатора, определяемой с помощью преобразователя абсолютного гидростатического давления, и дистанции от антенны до границы раздела вода–лед, определяемой с помощью гидролокатора. Преимущества этого вида эхоледомера – его принципиальная простота и наглядность получаемых данных, а также возможность оценивать осадку льда практически любой толщины.

Большое влияние на точность и достоверность данных об измеряемых расстояниях до исследуемой поверхности при наличии сильной изрезанности ее рельефа оказывает уровень боковых лепестков характеристики направленности антенны эхоледомера, так как амплитуды эхосигналов, принятых боковыми лепестками, могут превысить амплитуду эхосигнала, принятого основным лепестком, что приведет к появлению ложных отметок на индикаторе. Поэтому для таких систем принципиальным является уменьшение уровня боковых лепестков антенны.

Основной источник погрешности акусто-гидростатического эхоледомера – канал измерения абсолютного гидростатического давления, показания которого зависят от изменения атмосферного давления p_{atm} над поверхностью льда, которое не может измеряться из-под воды в условиях подледного плавания. Это приводит к наличию у этого вида эхоледомеров неустраняемой методической погрешности в оценке осадки льда. Погрешность эхолотового канала Δr_i также зависит от внешнего фактора – от точности знания вертикального распределения скорости звука над погруженным объектом. Это вторая существенная, неустраняемая и возрастающая с глубиной погружения объекта составляющая методической погрешности.

Суммарные (инструментальные, методические, внешние) предельные погрешности определения дистанции до нижней поверхности льда Δr_i и глубины погружения антенны ΔH_{ni} определяются следующими выражениями [2]:

$$\Delta r_i = \frac{1}{2} (t \Delta c \cdot \cos \theta \cdot \cos \psi + c \Delta t \cdot \cos \theta \cdot \cos \psi) - \frac{1}{2} (ct \Delta \psi \cdot \cos \theta \cdot \sin \psi + ct \Delta \theta \cdot \cos \psi \cdot \sin \theta), \quad (3)$$

$$|\Delta H_{ni}| = |\rho^{-1} \Delta p| + |\rho^{-1} \Delta p_{atm}| + |p \rho^{-2} \Delta \rho| + |p_{atm} \rho^{-2} \Delta \rho| + |\Delta z_i|, \quad (4)$$

где $\Delta p, \Delta \rho, \Delta z_i$ – соответственно погрешности определения абсолютного гидростатического давления, плотности морской воды и аппликаты соответствующей антенны эхоледомера относительно уровня, на котором измеряется гидростатическое давление.

Методическая погрешность, обусловленная неточностью знания скорости звука в воде, равна

$$\Delta r = \frac{c_u - c_n}{2} \Delta t, \quad (5)$$

где c_u – истинное значение скорости звука; c_n – принятое значение скорости звука.

Для случая линейного изменения скорости звука с глубиной, что можно считать справедливым для условий приповерхностного слоя водных масс Арктического бассейна [1], оценка r^* с учетом линейной рефракции в среде может быть представлена в виде [7]

$$r^* = \frac{c_0}{2} \Delta t \cdot \cos \theta - \frac{1}{8} G_c c_0 (\Delta t)^2 (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta), \quad (6)$$

где c_0 – скорость звука на горизонте расположения акустической антенны; G_c – градиент изменения скорости звука по глубине (c^{-1}); θ – угол наклона акустического луча относительно нормали к поверхности.

Так как в реальных условиях закон распределения градиента скорости звука можно считать близким к нормальному закону, то в этом случае плотность распределения вероятности r^* может быть представлена выражением [7]

$$P(r^*) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_r} \exp \left(- \frac{\left(r^* - c_0 \frac{\Delta t}{2} \cos \theta \right)^2}{2\sigma_r^2} \right), \quad (7)$$

где σ_r^2 – дисперсия оцениваемого расстояния.

Отсюда средняя квадратическая погрешность определения r будет

$$\sigma_r = \frac{1}{8} \sigma_{G_c} c_0 (\Delta t)^2 (\sin^2 \theta - \cos^2 \theta), \quad (8)$$

где σ_{G_c} – средняя квадратическая погрешность определения градиента.

Для достижения приемлемой точности оценки осадки льда суммарная погрешность измерения глубины погружения преобразователем гидростатического давления должна быть не хуже 0,15 % от верхнего предела глубины погружения.

Точность измерения расстояния до нижней поверхности льда и подробность воспроизведения рельефа в решающей степени зависят от рабочей частоты эхоледомера, которая для современных систем лежит в пределах 100...200 кГц. Это обеспечивает их работу с глубин до 500 м при приемлемой точности и разрешающей способности, дающей возможность отображать элементы рельефа протяженностью в несколько десятков метров. Суммарная абсолютная погрешность оценки осадки льда этим типом эхоледомеров может достигать нескольких десятков сантиметров, что для оценки морфометрических характеристик подводных частей ОЛО представляется приемлемым.

Использование эхоледомеров рассмотренного типа может быть весьма перспективным при построении рубежных систем наблюдения, устанавливаемых на направлениях наиболее вероятного появления ОЛО на дальних (до 100 км) подступах к гидротехническому сооружению. Но применение эхоледомеров для исследования рельефа нижней поверхности ледяного покрова далеко не исчерпывает всех практических задач этих исследований, так как наряду с информацией о рельефе вдоль некоторой трассы чрезвычайно важно иметь данные о площадных изменениях неровностей льда. В последние годы для решения этих задач все бо-

лее заметную роль играют гидроакустические системы, построенные на принципах подводного звуковидения, позволяющие получать двумерные гидролокационные изображения звукорассеивающих поверхностей.

Одним из методов формирования акустических изображений, достаточно широко реализуемым в настоящее время для решения исследовательских и практических задач, является разработанный в 1950-е гг. метод бокового и кругового обзора [6]. Это метод пространственно-временной обработки сигналов с фазированной антенной решеткой. При этом изображение формируется не звуковым объективом (по акустическому полю), а диаграммоформирующим устройством в электронных трактах системы, функции которого в гидролокаторе бокового обзора (ГБО) выполняет синфазная эквидистантная антенная решетка, обеспечивающая формирование характеристики направленности, широкой (около 60°) в вертикальной плоскости и узкой (около 1,5–3°) в горизонтальной.

Теоретической основой методов формирования акустических изображений служит одночастотное преобразование Фурье–Френеля и принцип обращения пространства.

Если диаграмма направленности акустической антенны определяется выражением

$$R(\theta, \varphi) = R(\theta)R(\varphi), \quad (9)$$

где θ – угол, отсчитываемый от геометрической оси антенны в вертикальной плоскости; φ – азимутальный угол, то, полагая, что плоскость углов θ перпендикулярна звукорассеивающей поверхности, и считая угол наклона оси характеристики направленности относительно горизонта равным α_a , можно показать, что интенсивность граничной реверберации (I_{rev}) определяется соотношением [10]

$$I_{rev}(\theta) = \frac{m(\theta_0) P_a \eta_n}{16\pi^2 \text{tg}\theta_0} R^4(\theta) \int_{-\pi}^{\pi} R^4(\varphi) d\varphi \int_r^{r+c\tau/2} \frac{10^{-0,2r\beta}}{r^3} dr, \quad (10)$$

где θ_0 – угол падения акустического луча на поверхность; τ – длительность зондирующего импульса; $m(\theta_0)$ – коэффициент обратного рассеяния; r – наклонная дальность; P_a – излучаемая гидролокатором акустическая мощность; $\theta = 90^\circ - \theta_0 - \alpha_a$; η_n – коэффициент, учитывающий влияние направленных свойств излучателя и приемника (коэффициент направленности) на уровень реверберации; β – коэффициент затухания звука в воде; c – скорость звука в воде.

Для случая равносигнального облучения поверхности и условия $D \gg \lambda$, где D – длина антенны, из (10) получим

$$I_{rev}(\alpha) = m(\alpha) \frac{P_a c \tau R^4(\alpha) \text{ctg} \alpha}{3r^3 \sin \alpha_m \cos \alpha_m} \cdot 10^{-0,2\beta r}. \quad (11)$$

Отсюда следует, что интенсивность граничной реверберации не зависит от направленности антенны в горизонтальной плоскости. Это обстоятельство весьма существенно, так как антенна ГБО имеет высокую направленность в азимутальной плоскости и измерения $R(\varphi)$ могут сопровождаться большими ошибками.

Заметим, что выражение (11) служит основой для расчета коэффициента обратного рассеяния $m(\alpha)$, так как все величины, входящие в формулу, могут быть найдены путем прямого измерения.

Метод «акустического контраста» дает наилучшие результаты при измерении не абсолютного значения $m(\alpha)$, а его относительного усредненного изменения $\bar{m}(\alpha)$, вычисляемого как среднее по выделенной области. Изучение пространственно-временной изменчивости $m(\alpha)$ может служить основой для получения статистических характеристик $m(\alpha)$ для интересующих районов.

Метод «акустического контраста» был успешно применен в 1965 г. на дрейфующей научно-исследовательской станции «Северный полюс-13» для исследования обратного рассеяния ультразвука морским льдом различного типа: ниласом, однолетним и паковым льдом [4]. При этом использовался так называемый гидролокатор кругового обзора (ГКО), у которого антенна механически вращалась с постоянной угловой скоростью вокруг вертикальной оси, а принимаемые ею эхосигналы воспроизводились на индикаторе в координатах азимут–дальность.

Исследования показали, что среднее значение коэффициента обратного рассеяния $m(\alpha)$ зависит от толщины льда и возрастает с ее увеличением, а также, что неоднородность обратного рассеяния коррелирует с изменчивостью толщины льда, т.е. с рельефом его нижней поверхности. Последнее позволяет использовать эти особенности для решения задач классификации звукорассеивающих поверхностей по их гидролокационному изображению.

Пример гидролокационного изображения, полученного при использовании ГКО для исследования нижней поверхности ледяного покрова, представлен на рис. 2. Следует отметить, что эффективная полоса (радиус) зоны обзора ГБО и ГКО при обследовании ровных (не подвергавшихся торошению) льдов составляет 6–7 значений отстояния антенны гидролокатора от нижней поверхности льда. При обследовании паковых льдов значение этой основной характеристики ГАС снижается до 3–4 значений отстояния вследствие проявления эффекта самозатенения поверхности элементами рельефа на скользящих углах падения акустического луча. Так, при отстоянии антенны ГБО от нижней кромки льда, равном 100 м, эффективная полоса обзора пакового льда не превысит 300–400 м.

В последнее время в качестве альтернативы ГБО все чаще используются многолучевые эхолоты (МЭЛ) с направленной в сторону нижней поверхности ледяного покрова акустической антенной, обеспечивающей трехмерное отображение особенностей рельефа льда. Эффективная полоса обзора МЭЛ так же, как и при использовании ГБО и ГКО, зависит от характера рельефа обследуемой звукорассеивающей поверхности.

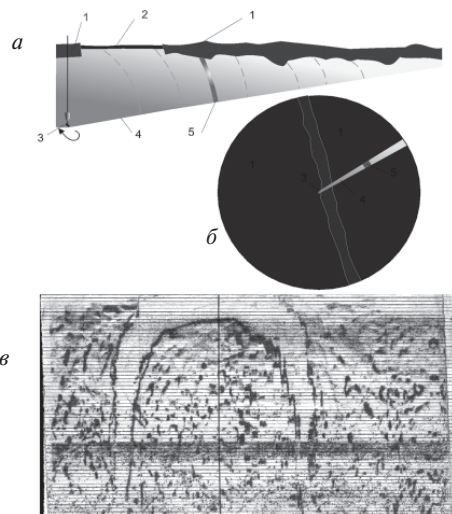


Рис. 2. Пример гидролокационного изображения, полученного при использовании ГКО: *a* – схема эксперимента; *b* – план взаимного расположения участков льда в зоне обзора (обозначения те же); *v* – изображение на самописце нижней границы льда в прямоугольных координатах; 1 – паковые льды; 2 – замерзшее разводье (лед 1,5 м); 3 – антенна, вращаемая в горизонтальной плоскости; 4 – ХН антенны; 5 – текущее положение зондирующего импульса

Для определения морфометрических характеристик ледяного покрова может быть также использована ГАС обнаружения навигационных препятствий по курсу носителя, представляющая собой впередсмотрящий 3D-гидролокатор секторного обзора с электронным сканированием характеристик направленности акустических антенн в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В наилучшей степени для этой цели оказались пригодны корабельные ГАС миноискания, которые, как показала практика, способны обнаруживать из-под воды айсберги и другие навигационные препятствия на дальностях до 2500–3000 м. Однако, в силу недостаточной изученности характеристик реальных айсбергов как гидролокационных целей, приведенные данные по дальностям обнаружения айсбергов требуют серьезной экспериментальной проверки. В частности, для энергетического расчета ГАС обнаружения айсбергов и определения энергетической дальности обнаружения необходимо знание R_s , характерного для айсбергов того или иного типа, так как интенсивность отраженного от гидролокационной цели эхосигнала определяется выражением [7]

$$I_c = P_a \gamma R_s^2 / 16\pi r^4 \cdot 10^{0,2Br}, \quad (12)$$

где R_s – эквивалентный радиус цели (в данном случае айсберга) на рабочей частоте ГАС; γ – коэффициент осевой концентрации антенны.

В принципе для решения задачи дальнего обнаружения ОЛО, в частности айсбергов, могут быть использованы и корабельные гидроакустические станции с гибкими протяженными буксируемыми антеннами (ГАС с ГПБА), имеющими активный режим работы. Но данные о практическом использовании указанных систем для обнаружения ОЛО отсутствуют. Кроме того, отсутствуют также сведения об акустических характеристиках айсбергов в частотном диапазоне, характерном для работы ГАС с ГПБА.

Для решения аналогичной задачи может быть с успехом использована и радиогидроакустическая система (РГС) предупреждения об айсбергах, которая в свое время была разработана в Канаде для защиты морских нефтепромыслов от воздействия ОЛО [9]. Система является автономной и может устанавливаться в пределах шельфовой зоны контролируемой акватории на дальних подступах к охраняемым от воздействий ОЛО гидротехническим сооружениям (ГС).

Принцип действия такой системы вполне понятен из рис. 3 и предусматривает регистрацию времени распространения сигналов между акустическими антеннами по различным траекториям распространения: по кратчайшему водному лучу, претерпевшему минимальные рефракционные искажения, по отраженному донному и поверхностному лучам.

Минимальное время распространения сигнала в прямом и обратном направлении в пределах существования данных гидрологических условий служит эталоном при последующем анализе подводной обстановки. Если на пути водных лучей окажется препятствие, экранирующее распространение прямого акустического сигнала, суммарное время прохождения акустических сигналов превысит эталонное значение, что будет служить признаком появления в зоне обзора системы крупного объекта, который может с наибольшей вероятностью оказаться ОЛО. Сигнал о наличии такого объекта транслируется через радиобуй на пост анализа гидроакустической информации. По времени существования сигнала о наличии объекта можно судить о протяженности его подводной части.

Расчеты энергетической и геометрической дальности действия системы для гидрологических условий, характерных для Карского моря, показывают, что одна система, построенная по такому принципу, может обеспечить ширину зоны обнаружения айсбергов L (расстояние между акустическими антеннами 4 на рис. 3) до 5 км при глубине моря более 200 м и заглублении акустических антенн не

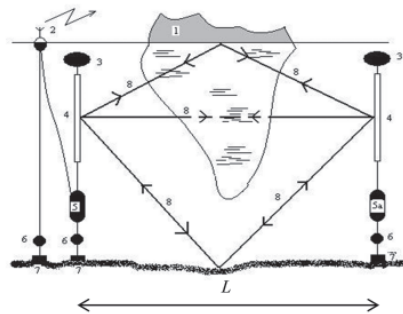


Рис. 3. Радиогидроакустическая система (РГС) предупреждения об айсбергах:

1 – айсберг; 2 – радиобуй; 3 – плавучести; 4 – гидроакустические антенны; 5 – основной контейнер с аппаратурой и источниками электропитания; 5 а – контейнер ретранслятора с аппаратурой и источниками электропитания; 6 – гидроакустические разъединители; 7 – якоря; 8 – возможные пути распространения прямых и ретранслируемых акустических сигналов

менее 50 м. Дальность связи по радиоканалу с МБП или береговой станцией практически не ограничена.

Что касается возможности прямого использования ГАС при их установке непосредственно вблизи гидротехнического сооружения, то можно отметить следующее.

Для того чтобы получить достоверную информацию о пространственно-временных характеристиках поля акустического сигнала в слое, необходимо иметь достоверную и оперативную информацию о гидрофизических характеристиках среды по трассе распространения акустического сигнала. Практика показывает, что распределения параметров акустического поля сигнала весьма сложны, так как зависят от множества гидрофизических характеристик среды (в том числе поверхности моря и грунта), имеющих значительную временную и пространственную изменчивость. В этой связи актуальной становится задача оценки геометрической дальности действия ГАС, которая определяется наличием и конфигурацией зон акустической освещенности. В наибольшей степени на протяженность зон акустической освещенности влияет вертикальное распределение скорости звука (ВРСЗ) в районе установки ГАС. На рис. 4 и 5 приведены картины пространственного распределения поля акустического сигнала по глубине и дальности (до 10 км), рассчитанные на основании профиля ВРСЗ, снятого в июле 2005 г. в Баренцевом море на изобате 280 м в районе Штокмановского ГКМ. Источник сигнала заглублен на 30 и 130 м от поверхности моря.

Из рис. 4 видно, что в пространственном распределении поля акустического сигнала имеются две зоны акустической тени, расположенные в приповерхностном слое моря на дальностях от 0 до 200 м и примерно от 700 до 1700 м. По конфигурации этих зон можно определить осадку айсбергов, при которой они могут преодолевать эти зоны не будучи обнаруженными системой. Если предположить, что наиболее вероятная осадка айсберга составляет 32,5 м, то такие айсберги, при нахождении их в зонах акустической тени, с большой вероятностью будут пропущены ГАС.

При заглублении антенны ГАС на 130 м и приведенных выше гидрологических условиях появляются три зоны тени, одна из которых – первая весьма глубокая (см. рис. 5), а в приповерхностном слое, начиная со второй зоны освещенности, интенсивность поля сигнала значительно снижена. В этой связи определение оптимальной геометрической дальности действия системы для различных районов ее установки, а следовательно, и ее технического облика (количество и параметры излучающих и приемных каналов, заглубление акустических антенн, их пространственная избирательность и алгоритм обработки информации) требуют

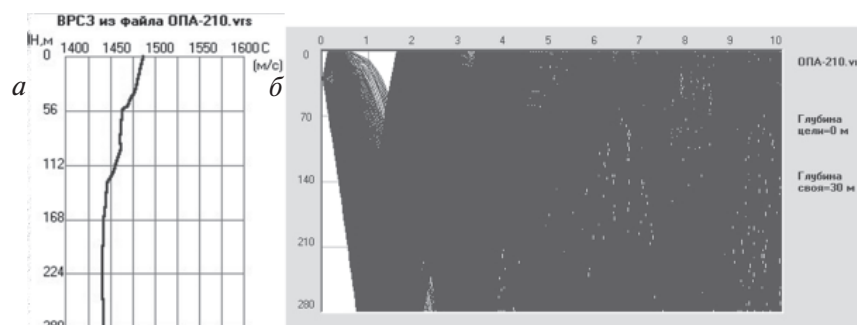


Рис. 4. Вертикальное распределение скорости звука (а) и расчетная картина пространственного распределения акустического поля сигнала по трассе распространения длиной 10 км (б). Заглубление источника сигнала 30 м

проведения целенаправленных исследований. В любом случае ясно, что без развитых и оперативно действующих систем сбора гидрологической информации и гидроакустических расчетов акустического поля построение и надежная работа ГАС, по крайней мере в условиях мелкого моря, невозможны. Можно предположить, что проще всего обеспечить построение ГАС, работающей в пределах первой зоны акустической освещенности антенны. Однако для приведенных выше условий распространения, характерных для Баренцева и Карского морей, которые относятся к категории мелких морей, максимальная протяженность первой зоны акустической освещенности, как это видно из рис. 4 и 5, не превышает 2 км.

Таким образом, представленный выше анализ существующих гидроакустических средств освещения ледовой обстановки из-под воды, разработанных применительно к использованию с обитаемых подводных носителей (типа подводной лодки), свидетельствует о возможности их применения и для решения задачи обнаружения ОЛО и оценки морфометрических характеристик их подводных частей. Но при этом дальность обнаружения ОЛО (айсбергов, тяжелых паковых льдов) и оценки протяженности их подводных частей с помощью ГАС освещения ледовой обстановки, при установке их непосредственно вблизи гидротехнического сооружения, принципиально ограничена значениями 2,5...3,0 км, что не обеспечивает требуемую зону безопасности (порядка 100 км). Исключение составляет радиогидроакустическая система предупреждения об айсбергах, которая может быть использована для обнаружения айсбергов на заданном направлении и передавать информацию о них на расстояния более 100 км. Поэтому рассмотренные методы и средства целесообразно использовать в качестве основы построения рубежных систем обнаружения и классификации при создании технических средств гидроакустического ка-

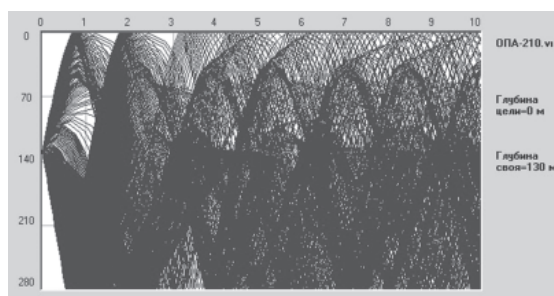


Рис. 5. Расчетная картина распределения акустического поля сигнала по трассе распространения длиной 10 км. Заглубление источника сигнала 130 м

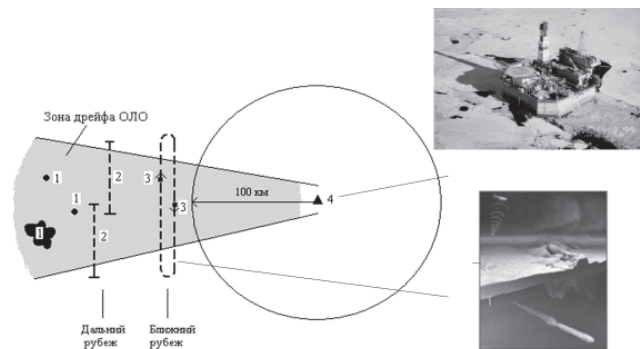


Рис. 6. Схема использования ГАС, входящих в систему гидроакустического канала получения информации об ОЛО:

1 – дрейфующие ОЛО; 2 – радиогидроакустические системы предупреждения об айсбергах; 3 – ГАС освещения ледовой обстановки из-под воды на самоходных подводных носителях; 4 – ГС

нала получения информации об ОЛО, применительно к обеспечению безопасности морских буровых платформ Баренцева и Карского морей.

В этом случае по информации, поступающей по гидроакустическому каналу, можно будет рассчитать зону безопасности и зону риска при появлении ОЛО в радиусе 100 км от ГС.

Предлагаемая схема использования содержит два рубежа получения информации об ОЛО – дальний и ближний (рис. 6), положение которых определяется относительно границ круговой зоны безопасности сооружения радиусом 100 км.

Протяженность рубежей и их ориентация относительно стран света определяются шириной и ориентацией опасной зоны дрейфа ледовых образований. На дальнем рубеже относительно стокилометровой зоны безопасности размещаются радиогидроакустические системы предупреждения об ОЛО и донные гидролокаторы. Они обеспечивают получение и передачу в центр управления первичной информации о появлении в опасной зоне айсбергов. Количество станций на рубеже и заглубление их акустических антенн определяются поперечным сечением перекрываемой станциями опасной зоны и наиболее вероятной осадкой айсбергов, подлежащих обнаружению. Информация об ОЛО, переданная системами предупреждения дальнего рубежа, анализируется центром управления. В случае необходимости центром принимается решение по уточнению информации об ОЛО с помощью ГАС освещения ледовой обстановки, размещенных на самоходных подводных носителях, которые образуют ближний рубеж получения информации об ОЛО. Уточненная информация, как о наличии самих ОЛО, так и о морфометрических характеристиках их подводных частей, анализируется, после чего, к моменту подхода ОЛО к границе стокилометровой зоны, принимается решение о действиях, которые необходимо предпринять для безопасности ГС. Самоходные



Рис. 7. Состав средств гидроакустического канала получения информации об ОЛО

подводные объекты – носители ГАС, в зависимости от их характеристик, доставляются к границам ближнего рубежа специализированным судном или находятся в постоянном дежурстве непосредственно у ГС или у границы рубежа безопасности. При этом гидроакустический канал получения информации об ОЛО состоит из гидроакустических средств, размещаемых как на дне акватории ГС, так и на самоходном подводном носителе. Состав этих средств представлен на рис. 7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акустика океана / Под ред. Л.М.Бреховских. М.: Наука, 1974. 693 с.
2. Богородский А.В. К вопросу о погрешностях оценки осадки морского льда с помощью акустогидростатического эхоледомера // Морская радиоэлектроника. 2005. Вып. 4 (14). С. 52–56.
3. Богородский В.В., Гаврило В.П. Лед. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 384 с.
4. Богородский В.В., Смирнов Г.Е., Смирнов С.А. Поглощение и рассеяние звуковых волн морским льдом // Труды ААНИИ. 1975. Т. 326. С. 128–134.
5. Бушуев А.В., Гаврило В.П., Лебедев Г.А. Информативность различных видов и методов дистанционных ледовых наблюдений // Морской лед. СПб.: Гидрометеиздат. 1997. С. 345–369.
6. Жуков Р.Ф. Гидролокаторы бокового обзора // Судостроение за рубежом. 1968. № 13. С. 27–35.
7. Матвиенко В.Н., Тарасюк В.Ф. Дальность действия гидроакустических средств. Л.: Судостроение, 1976. 200 с.
8. Мерклин Л.Р., Гагельганц А.А. и др. Приемные устройства в морской сейсморазведке: Обзор. М.: ВИЭМС. 1973. 265 с.
9. Простаков А.Л. Электронный ключ к океану. Л.: Судостроение, 1986. 180 с.
10. Фарра К.Р., Маром Е., Мюллер Р.К. Система подводного видения, использующая акустическую голографию // Акустическая голография. Л.: Судостроение, 1975. С. 126–211.
11. Hudson R. Annual measurement of sea ice thickness using an upwardlooking sonar // Nature. 1990. Vol. 3(44). № 62. P. 135–137.

A.V.BOGORODSKY, G.A.LEBEDEV

BASIC PRINCIPLES OF BUILDING-UP THE SYSTEM OF HYDROACOUSTIC MONITORING OF THE DANGEROUS ICE FORMATION AT THE SHELF OF FREEZING SEAS FOR THE ENSURING OF THE SAFE OPERATION OF THE HYDRAULIC FACILITIES

There has been conducted the analysis of existing hydroacoustic means (HAM), that can be used for detection and assessment of the morphometric features of the dangerous ice formations (DIF) such, as icebergs, grounded hummocks, ice hummocks, the interaction of which with the hydraulic facilities can cause damage and destruction of the latter. There has been demonstrated that for the shallow-water areas of the shelf zone with the help of installation of HAM directly at the hydraulic facilities, the distance of DIF detection and assessment of their underwater sections is limited to 2.5-3.0 km, that does not provide the required safety zone (within a radius of not less than 100 km).

For the DIF monitoring within the safety zone there has been identified the structure of usage of HAM, included in the system of hydroacoustic channel of receiving of information about DIF, that includes: the boundary system of early (more then 100 km) detection of DIF and system of HAM, installed at the independent uninhabited submarine carriers.

Key words: the system of hydroacoustic, the ice formation, monitoring, the hydraulic facilities, the safety, the system of information.