

Особенности научных исследований и гидрографических работ в высоких широтах подо льдом

В. А. Катенин¹, доктор военных наук

ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт»

Рассматриваются особенности использования специализированных атомных океанографических подводных лодок для научных исследований, гидрографических и специальных работ в высоких широтах подо льдом.

Ключевые слова: высокие широты, подледные научные исследования, гидрографические работы, океанографическая атомная подводная лодка, навигационно-гидрографическое обеспечение, спутниковые навигационные системы.

Открытие месторождений нефти и газа на арктическом шельфе, проблема их транспортировки с использованием подводных трубопроводных систем, подводных танкеров специальной постройки (переоборудованных для этой цели подводных лодок Военно-морского флота), а также обеспечение круглогодичной навигации в высоких широтах и по Северному морскому пути, определение границ отечественной части арктического шельфа и решение ряда других специальных задач потребовали дальнейшего детального изучения рельефа дна Арктического бассейна в соответствии с требованиями Международной гидрографической организации.

Арктический бассейн относится к наиболее сложным районам Мирового океана для реализации требований Конвенции ООН по морскому праву 1982 г. Его рельеф характеризуется широким континентальным шельфом, за пределами которого установлено торцевое сопряжение хребтов и поднятий с противоположными континентами, что приводит к неоднозначному определению положения континентальной окраины специалистами различных тектонических направлений.

Анализ требований Конвенции ООН по морскому праву показал, что для обоснования границ национальной юрисдикции прибрежных государств в Арктике необходимы разработки научных основ целевого картографирования и методических построений, базирующихся на результатах гидрографических исследований.

Обширная, труднодоступная и недостаточно исследованная в гидрографическом отношении

акватория Арктического бассейна требует изыскания более эффективных, нежели существующие, способов изучения рельефа дна.

В настоящее время гидрографический промер в Арктическом бассейне осуществляется почти исключительно путем эхолотирования со льда, выполняемого как на дрейфующих исследовательских станциях, так и в отдельных пунктах, где совершают посадки оборудованные эхолотами вертолеты. Эхолотирование со льда не дает большой эффективности в работе; изменчивый характер дрейфа, высокая стоимость эксплуатации и малый радиус действия вертолетов ограничивают возможности этого способа.

Широкое применение для изучения рельефа дна получили также гидрографические суда. Основной проблемой обеспечения их деятельности в Арктическом бассейне являются неблагоприятные условия, обусловленные в основном наличием пакового льда и низких температур.

Для повышения производительности гидрографических работ в настоящее время применяется способ съемки поля глубин на арктическом шельфе с помощью эхолотов, установленных на судне, осуществляющем промер самостоятельно или под проводкой ледокола. Недостатками этого способа являются:

- значительное влияние на качество батиметрических данных внешней среды (ледовых условий, состояния моря и др.);
- небольшая скорость съемки (от 2,5 до 5 узлов).

В связи с этим представляется целесообразным для проведения научных исследований и гидрографических работ в приполюсных районах использовать специальные океанографические атомные

¹ e-mail: vkatenin@rambler.ru.

подводные лодки, снимающие ограничения по длительности подледного плавания.

Идея использовать подводные лодки для указанных целей родилась практически в одно время с их появлением. Следует упомянуть отечественную исследовательскую подводную лодку «Северянка», представлявшую собой переоборудованную соответствующим образом дизель-электрическую лодку 613 проекта постройки начала 1950-х годов. Она предназначалась для изучения промысловых рыбных скопления и отработки способов их поиска и траления. «Северянка» была оснащена уникальной системой для визуальных подводных наблюдений, подводным телевидением, эхолотами и шумопеленгаторами, имела специальную систему стабилизации глубины погружения (до 180 м), систему отбора проб воды и грунта в подводном положении.

К сожалению, дизельные подводные лодки невозможно использовать для подледных исследований в силу ограничений длительного нахождения под водой без всплытия на подзарядку аккумуляторных батарей. Атомные подводные лодки лишены этого недостатка.

Первой атомной океанографической подводной лодкой в истории океанографических исследований и специальных подводных работ стала американская лодка, известная как NR-1 (рис. 1), хотя официально ее никогда не нарекали NR-1 и не вводили в строй. Ее основные эксплуатационные характеристики приведены в табл. 1.

Эта подводная лодка, построенная в 1969 г., предназначалась для океанографических и геологических исследований, ремонтных работ, установки и обслуживания подводного оборудования и была оснащена комплексом электронного, компьютерного и гидроакустического оборудования, который решал задачи навигации, связи, обнаружения и идентификации подводных объектов, а также подъема находок на поверхность. Лодка имела возможности изучать морское дно, измерять температуру и направление течений, получать различную информацию для военного, коммерческого, научного использования.

Для глубоководных работ лодка оснащалась выдвижными колесами, тремя иллюминаторами, системой внешнего освещения, неподвижными и подвижными телекамерами, многоцелевым захватом-манипулятором, корзиной для образцов и вспомогательных приспособлений.

В [1] был предложен способ съемки рельефа дна на арктическом шельфе с помощью штатных навигационных эхолотов подводной лодки. Правильная по сути идея не была реализована, так как не обеспечивались возможности:

- координирования съемки рельефа дна без всплытия подводной лодки в полынье или проламывания льда ее прочным корпусом, чтобы антенна навигационной аппаратуры потребителя (НАП) была «сухой»;



Рис. 1. Американская экспериментальная атомная подводная лодка NR-1

- использования для этой цели выпускных буксируемых антенн для приема сигналов радионавигационных систем (РНС) из-за низкой точности определения по ним местоположения лодки;
- использования навигационных гидроакустических систем с донными маяками-ответчиками из-за необходимости задействования большого их числа и существенной трудности высокоточного координирования маяков-ответчиков подо льдом.

С учетом изложенного нам представляется целесообразным использовать для научных и производственных целей в высоких широтах специализированную океанографическую атомную подводную лодку, несущую дополнительно необитаемый подводный аппарат. Следует заметить, что в существующей кораблестроительной программе и перспективных планах развития отечественного кораблестроения подобные проекты отсутствуют. Однако важность арктического региона с точки зрения освоения его природных богатств, в первую очередь углеводородов, стремление основных морских держав разделить Арктический бассейн (арктический шельф) на национальные сектора ставят перед Гидрографической службой Военно-морского флота новые задачи, решение которых существующими силами и средствами маловероятно.

Таким образом, роль и место атомных океанографических подводных лодок не вызывают сомнений, что, в свою очередь, требует корректировки кораблестроительных программ уже на ближайшую перспективу в части строительства специализированных подводных лодок с соответствующим исследовательским и навигационным оборудованием. Рассмотрим эти вопросы более подробно.

Океанографическая атомная подводная лодка должна обеспечиваться соответствующим научным оборудованием. Поскольку круг решаемых ею задач может быть расширен, такое оборудование должно быть модульного типа. При этом базовый состав оборудования должен оставаться постоянным, а переменный состав определяется конкретными целями. Для уменьшения расходов на разработку и создание такого навигационно-исследовательского

Таблица 1. Основные эксплуатационные характеристики атомной океанографической подводной лодки NR-1

Характеристика	Величина
Скорость надводная/подводная	4,5/3,5 узла
Предельная глубина погружения	915 м
Автономность плавания	До 25 сут
Экипаж	13 человек: 3 офицера, 8 матросов, 2 ученых
Водоизмещение подводное	400 т
Длина наибольшая (по конструктивной ватерлинии)	45 м
Длина прочного корпуса	29,3 м
Атомная силовая установка	1 реактор, 2 электромотора, 2 гребных вала, 4 подруливающих устройства

комплекса на начальном этапе, по всей видимости, целесообразно использовать уже существующие образцы навигационной и океанографической техники.

Арктический бассейн имеет среднюю глубину 3600 м и пересекается несколькими подводными хребтами с вершинами, достигающими глубин плавания современных подводных лодок. Обеспечение точного и безопасного подледного плавания является второй по сложности проблемой и требует разветвления эффективной системы навигационного обеспечения (НО) деятельности отечественных океанографических атомных подводных лодок.

Одним из сложнейших вопросов НО подледного плавания является возможность обсервации. Как было показано в [6], наиболее эффективным средством НО в Арктическом бассейне являются спутниковые навигационные системы (СНС):

- наклон орбит космических аппаратов ГЛОНАСС позволяет в зоне их радиовидимости охватывать рассматриваемый регион;
- приполярные районы находятся вне рабочих зон действующих радионавигационных систем типа МАРС-75 и БРАС, кроме того, их недостатком является относительно низкая точность в полярных районах;
- использование астронавигационных средств затруднительно из-за погодных условий и также предполагает всплытие во льдах;
- оборудование районов исследования и рекомендованных маршрутов плавания навигационными гидроакустическими системами с донными маяками-ответчиками требует применения СНС как единственного высокоточного средства координирования гидрографических работ; к тому же срок активного существования донных маяков-ответчиков ограничен, а их выставка (замена) в ледовых условиях весьма проблематична.

Произвести обсервацию по СНС в ледовых условиях возможно за счет:

- проламывания льда корпусом;
- всплытия в полынье;
- приема сигналов подо льдом.

Прием сигналов СНС путем проламывания льда подводной лодкой возможен, но связан с большим риском повреждения прочного корпуса и антенного устройства. Возможность всплытия подводной лодки в полынье весьма вероятна, так как полыньи в Арктике образуются и существуют в течение всего года. Тем не менее поиск пригодной для всплытия полыньи может занимать достаточно долгое время. Поэтому одним из реальных путей повышения эффективности навигационного обеспечения подледного плавания, проведения научных исследований и гидрографических работ подводных лодок в высоких широтах с использованием СНС является создание благоприятных условий для подледного приема радиосигналов с навигационных космических аппаратов. Производство подледной обсервации к тому же обеспечивает одновременно и увеличение доступности СНС из-за возможности определения места в любой момент времени, несмотря на наличие ледового покрова.

Третьей проблемой, тесно связанной с предыдущей и возникающей при проведении гидрографических работ (научных исследований) в высоких широтах подо льдом, является необходимость высокоточной привязки получаемых данных от многолучевого эхолота (МЛЭ) к плановым координатам в соответствии с требованиями Международной гидрографической организации.

В [3] был впервые предложен способ подледной обсервации подводной лодки в Арктическом бассейне, подтвержденный патентом [4]. На рис. 2 приведена иллюстрация предложенного способа подледной обсервации.

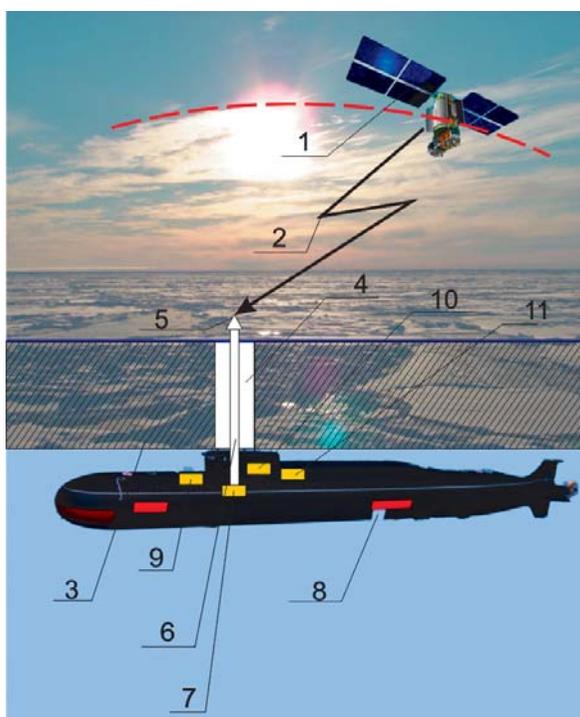


Рис. 2. Способ подледного приема спутниковых сигналов

Изложенная в патенте идея может быть реализована, если создать специальные устройства, позволяющие разрушать ледовый покров в локальном месте снизу в виде сквозного отверстия, в которое вводят антенну НАП до тех пор, пока она не окажется над поверхностью льда. Далее производят прием спутниковых сигналов и определение обсервованных координат места подводной лодки.

Подводная лодка 8 осуществляет поиск с помощью эхолота 9 и телевизионных средств 11 места, пригодного для приледнения, «припечатывается» к нижней кромке ледяного покрова 3 путем создания небольшой положительной плавучести без хода и с дифферентом 3—5° на корму. Далее с помощью специального выдвижного устройства 6, совмещающего антенну НАП 5 и ледовый бур (механический, паровой или электрический), проделывается сквозное отверстие 4 во льду, и головка выдвижного устройства (ВУ) с антенной оказывается над ледовой поверхностью. После проведения спутниковой обсервации (приема радиосигналов 2 с навигационных космических аппаратов 1) ВУ возвращается в исходное положение, а подводная лодка погружается и продолжает плавание.

Однако при использовании данного способа можно определять только обсервованные координаты подводного объекта и нельзя осуществить коррекцию инерциального курса инерциальной навигационной системы (ИНС) подводной лодки. Это обстоятельство обуславливает наличие в вырабатываемых ею счисляемых координатах существенной погрешности, которая изменяется с течением времени и в зависимости от условий плавания, как показывает практика, по

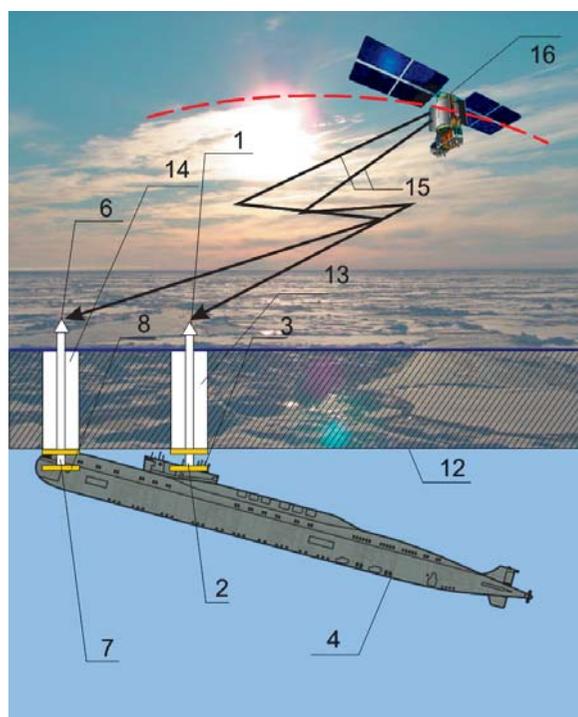


Рис. 3. Способ подледного определения координат места и поправки курса по сигналам спутниковой навигационной системы: 1, 6 – первая и вторая антенны приемников сигналов СНС; 2, 7 – первое и второе выдвижные устройства; 3, 8 – редукторы выдвижных устройств 2, 7; 4 – подводная лодка; 5, 9 – первый и второй приемники сигналов СНС; 12 – нижняя кромка ледового покрова; 13, 14 – первое и второе сквозные отверстия, искусственно образованные во льду; 15 – сигнал СНС; 16 – навигационный космический аппарат

известному закону. По этой причине предложенный способ получил дальнейшее развитие [5].

Сущность нового способа (рис. 3) заключается в том, что производится приледнение подводной лодки 4 к нижней кромке льда 12 рубкой и носовой частью в местах, в которых установлены антенны 1 и 6 приемников СНС, разнесенные на определенное расстояние.

Далее производят сквозное бурение льда и ввод антенн в искусственно образованные сквозные отверстия 13 и 14 во льду, принимающие сигналы СНС 15, по которым определяют обсервованные координаты мест размещения антенн. По полученным данным рассчитывают поправку к инерциальному курсу подводной лодки, вырабатываемому его бортовой ИНС.

Искомая поправка $\Delta_{ИК}$ с учетом решения обратной геодезической задачи на небольших расстояниях [6] может быть вычислена по формулам:

$$\Delta_{ИК} = A - ИК \pm \delta, \quad (1)$$

$$A = \arctg \frac{x'_b}{y'_b}, \quad (2)$$

$$x'_b = \frac{N\pi}{180} \arcsin [\sin(\lambda_b - \lambda_a) \cos \phi_b], \quad (3)$$

$$y'_b = \frac{M\pi}{180} \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg}\phi_b - \operatorname{tg}\phi_a \cos(\lambda_b - \lambda_a)}{\operatorname{tg}\phi_a \operatorname{tg}\phi_b + \cos(\lambda_b - \lambda_a)}, \quad (4)$$

$$N = \frac{a}{(1 - e' \sin^2 \phi_b)^{0.5}}, \quad (5)$$

$$M = \frac{b}{\left(1 - e' \sin^2 \frac{\phi_a - \phi_b}{2}\right)^{3/2}}, \quad (6)$$

где A — азимут прямой линии, соединяющий места установки антенн; ИК — истинный курс подводной лодки, выработанный бортовой ИНС; δ — угол, образованный прямой линией, соединяющий места установки антенн, и диаметральной плоскостью подводной лодки, который определяется в базе заблаговременно; ϕ_a, λ_a и ϕ_b, λ_b — сферические географические координаты мест расположения первой и второй антенн приемников СНС; a — большая полуось земного эллипсоида; b — малая полуось земного эллипсоида; e' — второй эксцентриситет земного эллипсоида.

В случае использования эллипсоида Красовского $a = 6\,378\,245$ м; $b = 6\,335\,552,6$ м; $e' = 6,693\,4216 \cdot 10^{-3}$; N — радиус кривизны первого вертикала; M — радиус кривизны меридионального сечения.

При установке антенн на прямой линии, параллельной диаметральной плоскости подводной лодки, угол δ равен нулю.

Другим сложнейшим техническим вопросом навигационного обеспечения подледного плавания океанографической подводной лодки является необходимость обеспечения знания ее местоположения с требуемой точностью в течение длительного времени после последней обсервации. До недавнего времени это была трудноразрешимая задача. Развертывание орбитальной группировки ГЛОНАСС в штатном составе, а также достигнутые успехи в гироскопии способствовали существенному повышению точности работы навигационных комплексов. Для достижения необходимой при выполнении промерных работ точности хранения навигационных данных комплекс следует перевести в режим инерциального счисления с непрерывной работой гидроакустического лага. Поскольку лодке не требуется соблюдать скрытность действий, его демаскирующая работа не является критическим фактором.

На рис. 6 приведен один из возможных вариантов состава навигационно-исследовательского оборудования океанографической АПЛ.

Таким образом, предложенные технические решения позволяют гарантированно решить проблему подледного приема спутниковых сигналов на океанографической атомной подводной лодке при

проведении научных исследований и гидрографических работ, в том числе и на полюсе.

Выводы. 1. Основными особенностями выполнения гидрографических исследований в высоких широтах являются:

- тяжелые ледовые условия плавания, затрудняющие использование МЛЭ с надводных судов;
- слабая изученность рельефа дна Арктического бассейна, определяющая проблему обеспечения навигационной безопасности плавания судов в нем и особенно подводных лодок в подводном положении;
- трудности координирования подледной съемки рельефа дна и решения других специальных задач с помощью многолучевого эхолота, установленного на подводном носителе.

2. Исследование рельефа дна Арктического бассейна и решение ряда специальных задач целесообразно производить с помощью специальной глубоководной атомной океанографической подводной лодки. Такая подводная лодка должна быть оснащена:

- навигационным комплексом, обеспечивающим безопасность подледного плавания в малоизученных районах высоких широт и выдачу потребителям навигационной информации (координаты, курс, скорость и время) в любой момент с точностью, удовлетворяющей соответствующим требованиям;
- океанографическим исследовательским комплексом, позволяющим решать разнообразные задачи по изучению Мирового океана, производству гидрографических работ и поиску полезных ископаемых на дне.

3. Эффективность использования такой подводной лодки в высоких широтах во многом обусловлена возможностью производства в любой момент высокоточной подледной обсервации. В настоящее время в мировой практике таких способов нет. Существующая система навигационного обеспечения подледного плавания не в полной мере обеспечивает безопасность плавания и доступность производства подледных обсерваций.

Предложенные способы подледной обсервации по отечественной спутниковой навигационной системе ГЛОНАСС, возможность реализации которых подтверждена соответствующими патентами, позволяют уже сейчас на существующей элементной базе решить проблему высокоэффективного навигационного обеспечения проведения научных исследований и гидрографических работ в высоких широтах.

4. С технической точки зрения при существующих возможностях отечественной промышленности ничто не мешает разработать, построить и ввести в эксплуатацию специализированную океанографическую атомную подводную лодку уже в ближайшее время. Для этого требуется выполнение всего двух условий: наличия политической воли и необходимых ресурсов. Первое условие наиболее существенно.

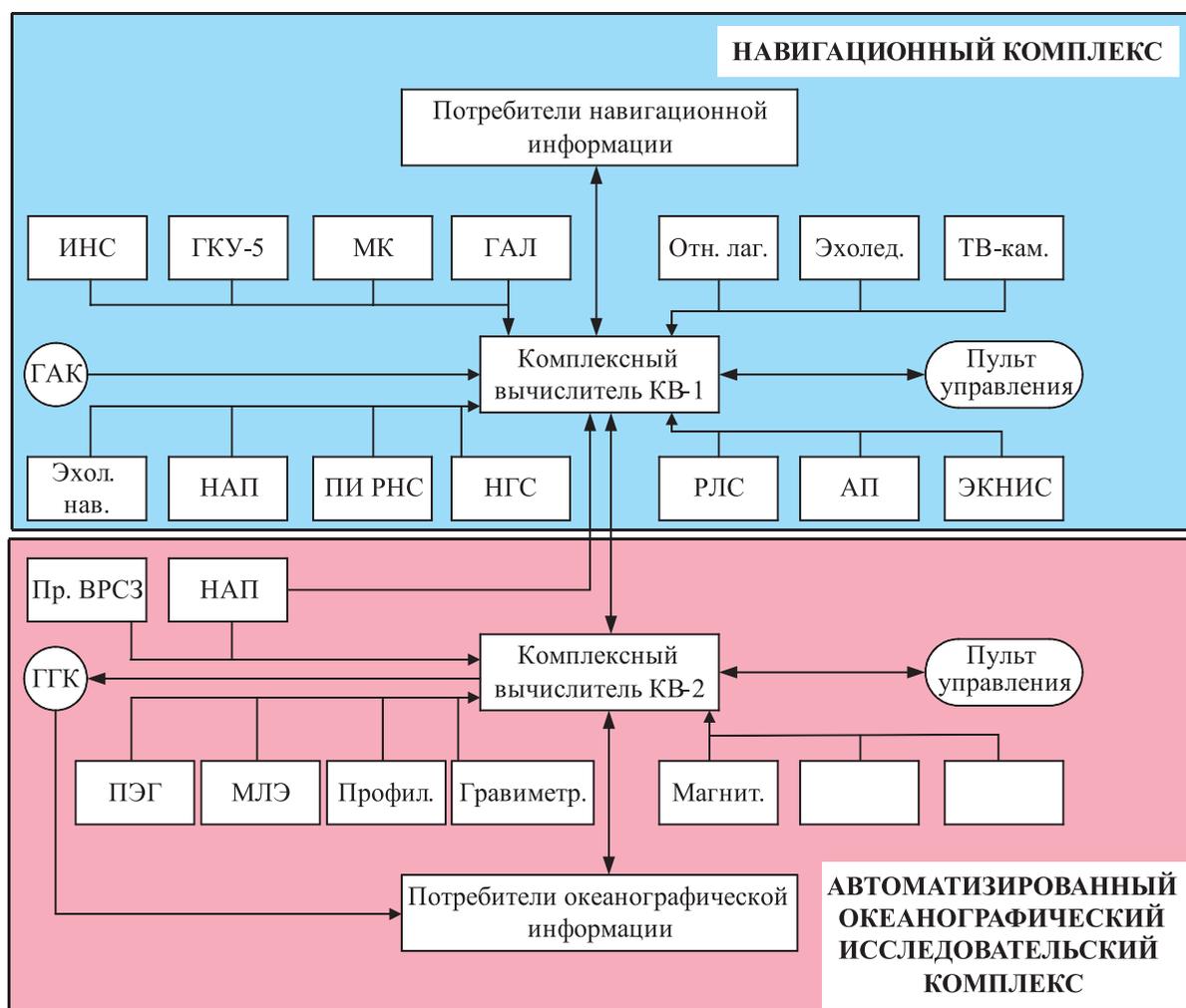


Рис. 4. Вариант состава навигационно-исследовательского оборудования океанографической АПЛ: ИНС – инерциальная навигационная система; ТВ-кам. – телевизионные камеры; ГКУ-5 – двухрежимный гирокурсоуказатель; РЛС – радиолокационная станция; МК – магнитный компас; АП – автопрокладчик; ГАЛ – гидроакустический лаг; ЭКНИС – электронная картографическая навигационно-информационная система; ГАК – гидроакустический комплекс; Пр. ВРСЗ – прибор определения вертикального распределения скорости звука в морской воде; Эхол. нав. – навигационный эхолот; ГТК – гидрографический комплекс; НАП – навигационная аппаратура потребителей спутниковой навигационной системы; ПЭГ – промерный эхолот глубоководный; ПИ РНС – комбинированный приемник радионавигационных систем; МЛЭ – многолучевой эхолот; НГС – бортовая аппаратура навигационной гидроакустической системы; Профил. – профилограф; Отн. лаг. – относительный лаг; Эхолед. – эхоледометр; Магнит. – магнитометр

Литература

1. Курсин С. Б. Альтернативный способ исследования рельефа дна подо льдами Арктики // Мор. вестн. — 2010. — № 1. — С. 57—58.
2. Катенин В. А. Повышение доступности спутниковых навигационных систем при обсервации в высоких широтах // Труды XI Международной научнотехнической конференции «Роль навигации в обеспечении человеческой деятельности на море». — Т. 1. — Гдыня: АМВ, 1998. — С. 285—288.
3. Использование подводных лодок ВМС США и ВМС Великобритании подо льдом: Аналитический отчет. — Вып. 6. — СПб.: ЦКБМТ «Рубин». — 2006. — 242 с.
4. Катенин В. А. Патент № 2119703 на изобретение «Способ подледного приема сигналов спутниковых навигационных систем». Приоритет изобретения: 22 мая 1997 г.
5. Алексеев С. П., Денесюк Е. А., Катенин В. А. Патент № 2295808 на изобретение «Способ подледного приема спутниковых навигационных систем и устройство для его осуществления». Приоритет изобретения: 2007 г.
6. Глухов Ю. А., Заяц Л. А. Прямая и обратная задачи на небольших расстояниях // Записки по гидрографии. — 2000. — № 250. — С. 43—47.