



## СОДЕРЖАНИЕ

### Статьи

<i>Клячкин В.И.</i> Оценивание неизвестных статистических параметров гидродинамических потоков несжимаемой жидкости, создаваемых движущимся сторонним источником .....	4
<i>Белов Б.П., Семенов Н.Н., Миронов И.В.</i> Цифровое формирование характеристики направленности гидроакустической антенны гидролокатора подводного робота во временной области .....	32
<i>Боженев Ю.А.</i> Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики .....	47
<i>Романенко Е.В., Пушков С.Г.</i> Об одном методе расчета гидродинамических характеристик крыла при нестационарном движении .....	69
<i>Разумеенко Ю.В., Юссеф М.Ю.</i> Теоретическое и экспериментальное обоснование повышения мореходности быстроходных катеров на основе принципа нейтрализации волновых нагрузок .....	81
<b>Из истории науки</b>	
<i>Готман А.Ш.</i> 200 лет со дня рождения Вильяма Фруда .....	88
<b>Поздравляем!</b> .....	97
<b>Хроника</b> .....	99
Правила представления материалов в редакцию.....	103

# CONTENTS

## Articles

- Klyachkin V.I.* The Estimation of Unknown Statistical Parameters of Hydrodynamic Flow of an Incompressible Liquid, Created by Moving Outside Source ..... 4

On the basis of the use of hydrodynamic equations to incompressible liquid, reduced to non-dimensional form within the framework of similarity law, probabilistic structure of the field is constructed and researched as the basis of the decision of the problem of the non-dimensional parameter estimation of the flow, created by moving outside source, as well as for estimation of the source proper parameters and parameters of the statistical field propagation channel. The analytical form of the likelihood ratio is found and algorithms of the unknown information parameter estimation as the object of the statistical inverse problem solving are formed..

**Key words:** hydrodynamics, flow, moving source, propagation channel, plausibility ratio, inverse problem.

- Belov B.P., Simenov N.N., Mironov I.V.* Digital Underwater Robot Sonar Antenna Beamforming in Time Domain ..... 32

Hydroacoustic data processing is being performed in time or spectral domain, the spectral domain processing is wider spread. In any case, antenna devices beamforming and input signals processing algorithms modeling must be performed. There are two possible approaches to the algorithms working out. The first is to process the signals on the outputs of the antenna channels and then calculate and simulate signals and noise on the antenna channels outputs in accordance with the calculated beam pattern of the channels and given source distribution and signals and noise parameters. The second is to generate signals and noise in the array elements, obtaining processes with the properties given on the item level on the channel outputs, and the total signal processing in time domain. The formulas of signals and noise for mobile underwater robot antenna are cited.

**Key words:** directivity, sonar, modeling of noise and signals, time domain, frequency domain, sonar channel formation.

- Bozhenov J.A.* Use of the Autonomous Underwater Vehicles for the Arctic and Antarctic Regions Exploration ..... 47

Polar marine research is a key to understanding of processes of the sea ecosystem and the Earth climate change. They are also of a great economic and defense importance. However, vast ice covers and ice thickness make it difficult to carry out research in such regions. Autonomous underwater vehicles (AUVs) are able to provide essential help in conducting this research. The paper deals with: the overview of development, role and technical capabilities of AUVs, used for marine research in ice environments.

**Key words:** Polar Regions, drifting ice, ice sheet, AUVs, sea researches, navigation, payload, equipment characteristics, risks.

<i>Romanenko E.V., Pushkov S.G.</i> On the Method of the Wing Hydrodynamic Characteristics Calculation at Non-Stationary Movement .....	69
---	----

Approximate expressions of hydrodynamic forces were used to develop a mathematical model of the flat rigid wing with different shape and aspect ratio varying pitch-axes location and sufficiently large heaving and pitching amplitudes. A peculiarity of this model is the usage of the first-order aerodynamic derivatives coefficients and kinematic parameters. Formulas for the calculation of the thrust and efficiency were derived. The results of calculations are in good agreement with numerical solutions.

**Key words:** wing, thrust, power, efficiency, aerodynamic derivatives, mathematical model.

<i>Razumeenko Y.V., Yussef M.Y.</i> Theoretical and experimental approach to seaworthiness increase of high-speed boats on the basis of wave loadings neutralization .....	81
--	----

Theoretical bases of essential seaworthiness increase and reduction of high-speed boats onboard rolling by application of wave loadings neutralizers are stated; wave loadings being the prime reason of rolling. It was proved experimentally that the most effective type of wave loadings neutralizer is wing profile lattices attached to the stern part of high-speed boats and that increased the attached weight – 2 times, and damping – 10 times. Comparative tests of the forced rolling of boats models in a seakeeping basin were conducted. They have confirmed high efficiency of the neutralizers in decreasing of boat onboard rolling. The structure of the left and right members of equation of boats onboard rolling with application of neutralizers is specified and their high efficiency in comparison with its traditional methods of rolling lessening was explained.

**Key words:** wave loadings neutralizers, wing profile lattices, specified structure of onboard rolling equation, model experiment.

УДК 629.127

© Ю.А. Боженов, 2011

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет  
yuri-bozhenov@yandex.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

Полярные морские исследования являются ключевыми в понимании процессов изменения морской экосистемы и климата Земли. Они имеют также важное экономическое и оборонное значение. Однако их проведение затруднено наличием обширных и большой толщиной ледяных покровов, характерных для этих областей. Существенную помощь в проведении таких исследований могут оказать автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА). В статье приведены обзор развития, роль и технические возможности АНПА, используемых для морских исследований в ледовой обстановке.

Ключевые слова: полярные области, дрейфующий лед, ледниковый щит, морские исследования, автономные необитаемые подводные аппараты, навигация, полезная нагрузка, характеристики аппаратуры, риски.

Имеются научные, экономические, военные и геополитические факторы, определяющие заинтересованность многих стран в проведении морских полярных исследований с использованием автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА).

Среди научных факторов главное – стремление глубже понять и оценить влияние процессов, происходящих в Арктике и Антарктике в связи с возможным глобальным потеплением и не только, на изменение климата Земли и морской экосистемы. По мнению большинства ученых, наибольший вклад в глобальное потепление вносит нарастающий объем углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) в атмосфере Земли, обусловленный развитием промышленного производства. На рис. 1 представлен график осредненных колебаний температуры воздуха у поверхности Земли в XIX–XX вв. График построен Рабочей группой I Межправительственной комиссии по наблюдению за изменением климата в течение многих лет, ансамблем из пяти моделей обобщенной климатической системы (CCSM) и прогнозным сценарием развития окружающей среды (SRESA) [1]. Не все ученые разделяют эту точку зрения. Но сокращение площади ледового покрова Арктических морей в последние годы объективно ре-

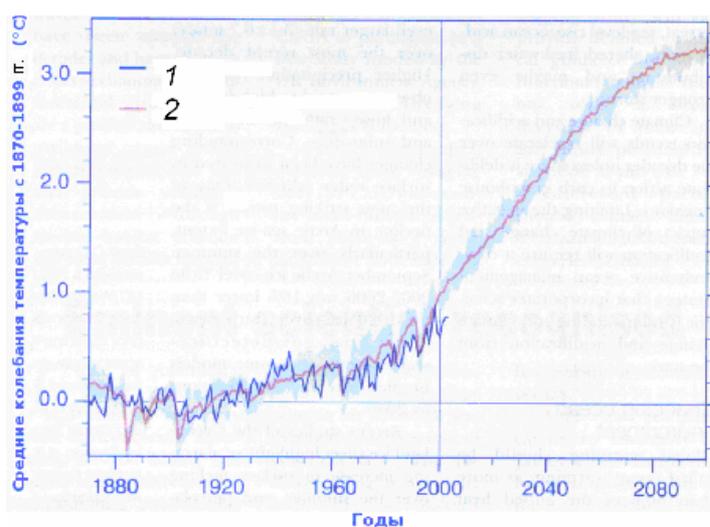


Рис. 1. Повышение температуры воздуха у поверхности Земли по результатам наблюдений (1) и моделирования (2).

гистрируется спутниковыми наблюдениями.

Потепление неизбежно приведет к интенсивному таянию материкового льда и ледниковых щитов Антарктики, Гренландии, Канадского архипелага, откалыванию гигантских айсбергов, сокращению ледового покрова полярных океанов и морей, уменьшению толщины льда, повышению уровня моря, изменению распределения пресных вод и циркуляционных процессов теплых и холодных океанических вод, усилению штормов.

Независимо от достоверности выдвигаемых научных прогнозов и развития противоположного сценария изменения температуры знание характера процессов, протекающих в покрытых льдом водах, их изменчивости, количественных показателей гидрофизических полей, площади и толщины льда очень важно для оценки возможных изменений климата Земли и морской экосистемы [2–4]. Однако проведение необходимых исследований чрезвычайно затруднено наличием протяженного ледяного покрова, толщиной льда и географической удаленностью полярных областей. Немногочисленные экспедиции на судах ледового класса, дрейфующие полярные станции, авиадесантные экспедиции, стационарные и дрейфующие (неуправляемые) буи вносят основной, но недостаточный вклад в эти исследования. Хотя сокращение площади льда за последние годы хорошо наблюдается со спутников, уменьшение толщины льда с их помощью пока измерить не удастся. Значительную роль в проведении систематических полярных исследований, повышении их технической и экономической эффективности могут сыграть АНПА.

**Экономический фактор** интереса, в частности приарктических государств, в проведении морских полярных исследований связан с надвигающимся глобальным энергетическим кризисом и огромными природными энергетическими ресурсами Арктики. Например, для большинства арктических регионов Российской Федерации освоение углеводородных энергоресурсов является базовым сектором экономики, а судоходный коридор «Севморпуть» – транспортной инфраструктурой для разработки и реализации энергопроектов. В соответствии с Конвенцией ООН по морскому праву от 1982 г. государства имеют возможность расширить национальную 200-мильную экономическую зону за счет прилегающего богатого энергоресурсами континентального шельфа. Для этого требуется доказательное установление его границ. Научная экспедиция «Арктика 2007» в составе атомного ледокола «Россия» и исследовательского судна «Академик Федоров» с обитаемыми глубоководными подводными аппаратами «Мир-1» и «Мир-2» имела целью определения северной границы континентального шельфа России. Хотя задачи экспедиции и были признаны успешно выполненными, они показали чрезвычайно ограниченные возможности (по площади и по времени) работы обитаемых аппаратов на больших глубинах подо льдом. Кроме того, это было сопряжено с большими рисками для жизни экипажа подводных аппаратов и огромными финансовыми затратами, многократно возрастающими в случае потери уникальных ПА. Возможность длительного пребывания подо льдом, детального картографирования морского дна на больших площадях, исследования гидрофизических полей, проведения химического, биологического и других видов анализа, уменьшения стоимости проведения работ связана только с использованием АНПА.

**Военный и геополитический факторы** являются катализаторами проведения полярных исследований в условиях конкурентной борьбы приарктических государств и их национальных компаний за обладание арктическими ресурсами. Интенсивно развиваемый сетцентрический подход ведения боевых действий распространяется и на возможные методы научных исследований с использованием АНПА. В проведении исследований может одновременно участвовать несколько связанных между собой обменом информации не только подводных, но и летательных беспилотных аппаратов, значительно расширяющих зону обследования [5]. Это не вносит дополнительных требований к аппаратуре непосредственного определения исследуемых параметров, но требует иной ор-

ганизации проведения самих исследований, ужесточает требования к системам обработки и передачи информации, а также навигационного обеспечения.

**Автономные необитаемые подводные аппараты.** Использование самоходных АНПА для съемки профиля льда и измерения гидрофизических параметров подо льдом впервые было осуществлено США в 1972 г. Исследования проводились в интересах навигации атомных подводных лодок и ведения боевых действий в Арктике. Аппараты UARS (Underwater Arctic Research Submersible) и SPURV (Self Propeller Underwater Research Vehicle), построенные по торпедной технологии, были оснащены гидроакустической аппаратурой (акустические профилографы и эхолоты), направленной в сторону льда, и набором гидрофизических датчиков [6]. До этого подобные исследования в стратегически важных районах Арктики осуществлялись атомными подводными лодками США и Великобритании. Аналогичные исследования в Антарктике практически не проводились.

Целенаправленные разработки автономных необитаемых подводных аппаратов, предназначенных для использования в полярных районах, проводит компания International Submarine Engineering Ltd (ISE, Канада). С 1981 г. при поддержке Министерства обороны и гидрографической службы Канады ею разработано и построено три поколения аппаратов: ARCS (ARctic System), «Theseus» и «Explorer» (рис. 2). Первый аппарат ARCS был спроектирован как испытательная платформа для опытной отработки основных систем. Он проходил испытания в ледовых условиях Арктики в 1983–1986 гг. В дальнейшем использовался для развития и демонстрации новых подводных технологий, в частности систем энергообеспечения и связи.



Рис. 2. АНПА «Explorer» 3000 и 5000, «Theseus», ARCS.

Аппарат ARCS (рис. 3), как и все последующие типы, имеет торпедообразную форму корпуса, один гребной винт, кормовые поворотные рули-стабилизаторы и носовые (передние) поворотные крылья малого удлинения. Крылья выполняют функции органов управления движением и силовых компенсаторов плавучести. Средняя часть выполнена в виде прочного герметичного корпуса, рассчитанного на глубину погружения 300 м. Она предназначена для размещения источников энергии, электронной управляющей и регистрирующей аппаратуры.

Носовая и кормовая оконечности проницаемы, связаны с прочной частью рамной конструкцией и закрыты легкими обтекаемыми корпусными панелями из стеклопластика. В этих частях устанавливаются исследовательская аппаратура, компенсаторы плавучести, датчики и та часть аппаратуры управления, которая должна контактировать с водой. Номинальная скорость аппарата 4 узла, время функционирования до 36 ч с полупливной батареей на основе  $Al/H_2O_2$ .

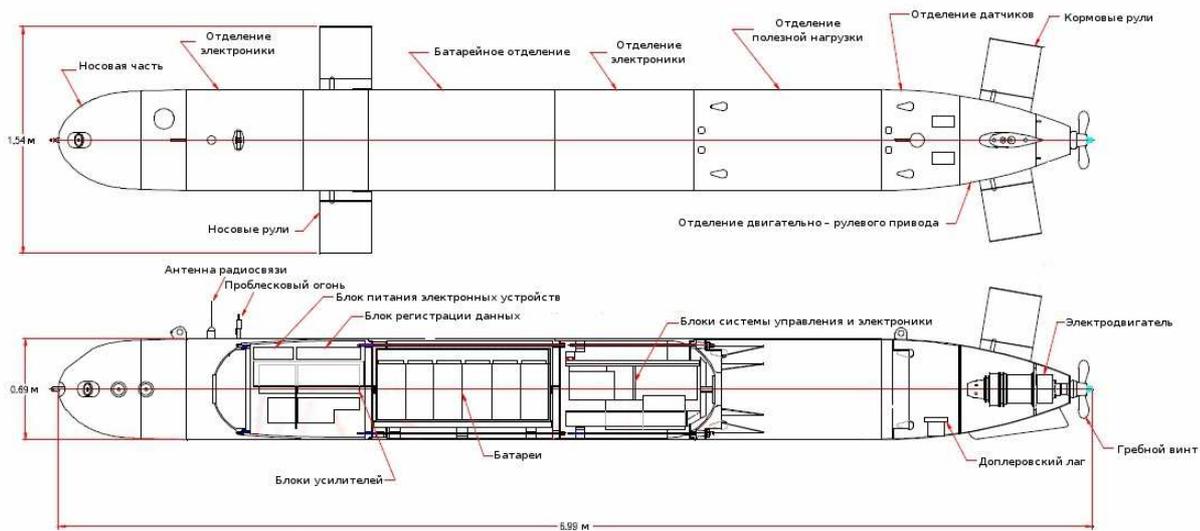


Рис. 3. Компоновка АНПА ARCS.

Аппарат «Theseus» (рис.4–6) разрабатывался в 1991–1996 гг. по совместной программе «Спинакер» (Spinnaker) Канадского оборонного исследовательского ведомства и Отделения военно-морских исследований США. Целью программы было создание АНПА для транспортировки под водой грузов и устройств в места, где использование надводных кораблей или подводных лодок неэффективно по условиям безопасности или экономичности, например, в покрытые паковым льдом районы континентального шельфа [7]. Одним из пунктов программы являлась прокладка по дну моря оптоволоконного кабеля длиной 220 км между базой Alert в бухте Jolliffe и ледовым лагерем Knossos Канадского архипелага, через акваторию, покрытую паковым льдом толщиной от 3 до 10 м и возможными килевыми выступами от 30 до 50 м.

Применение АНПА для прокладки кабеля имеет два преимущества по сравнению с традиционными способами с использованием надводных кораблей:

- отслеживание рельефа дна при движении аппарата уменьшает вероятность обрыва кабеля;
- укладка не зависит от состояния моря и поэтому кабель может быть изготовлен менее прочным, а значит более легким и дешевым.



Рис. 4. Компоновка АНПА «Theseus».



Рис. 5. «Theseus» в ангаре.

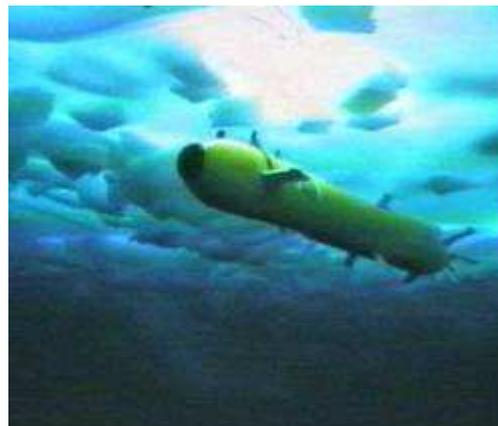


Рис. 6. «Theseus» подо льдом в исходной точке после возвращения.

Конструкция АНПА и состав аппаратуры разрабатывались с учетом внешних условий.

В место спуска аппарат можно было доставить только по воздуху вертолетом или легким самолетом. Поэтому аппарат должен состоять из модулей весом не более 1400 кг каждый.

Для гарантированного подъема кабеля на поверхность в конечной точке через прорубь опускалась петля в форме равнобедренного треугольника со стороной 200 м. Аппарат должен был пройти через нее. В местах спуска аппарата и трех промежуточных гидрофонов, установленных по маршруту следования, наблюдались течения со скоростью 0.25–0.10 м/с. С учетом этих факторов и самонаведения в конечной точке была определена необходимая навигационная точность – 1 % пройденной дистанции. Наличие оптоволоконного кабеля позволяло также использовать аппарат в режиме телеуправления по кабелю.

Был выбран пассивный способ укладки кабеля как более простой, путем его размотки со шпупек под действием собственного веса. Для реализации способа высота движения аппарата над дном должна была поддерживаться в пределах 20–50 м.

При выпуске 220 км кабеля аппарат приобретал 660 кг положительной плавучести. Для ее компенсации применили способ пассивного заполнения водой емкостей тороидальной формы, размещенных вокруг каждой из 11 шпупек с кабелем по мере его выхода.

Температура воздуха во время проведения работ могла составлять от 40 до 20°С, а температура воды – от 1°С на поверхности до 4°С на глубине 600 м. Во избежание замерзания в основных балластных цистернах использовался антифриз, а подготовка и спуск аппарата осуществлялись в отапливаемом палаточном ангаре 11×20 м (рис. 7) при температуре 10°С.

Гидролокационная система обнаружения и обхода препятствий базировалась на концепции перемещения аппарата только в вертикальной плоскости.

Основные характеристики АНПА «Theseus» и его систем приведены в табл. 1.

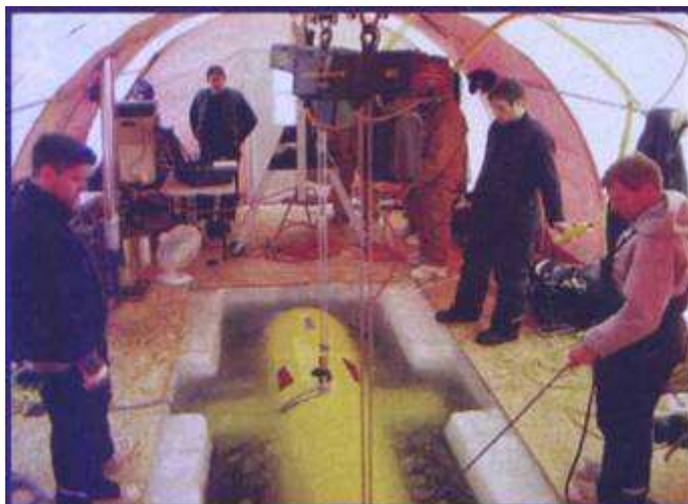


Рис. 7. Спуск АНПА «Theseus» в палаточном ангаре.

## Основные характеристики АНПА «Theseus» и его систем

Длина, м	10.7
Диаметр, м	1.27
Водоизмещение, кг	8600
Скорость, м/с	2
Дальность хода, км	900
Максимальная глубина, м	1000
Навигационная точность, % (от пройденной дистанции)	0.5
Запас энергии, кВт·ч	360, батарея из 280 СЦА
Варьируемый балласт в каждой из двух балластных цистерн в корме и в носу, кг	± 95
Система навигации	Honeywell H-726 MAP инерциальный навигационный блок, EDO 3050 доплеровский эхолот
Система наведения	Datasonics AUC-206 акустическая система наведения с ORE
Система телеметрии	6701 транспондерами (8–14 кГц) и радиусом действия 5 км Datasonics модем ATM-851 с MFSK (15–20 кГц)
Система обнаружения препятствий	Sonatech STA-013-1 впередсмотрящий гидролокатор с 5×4 лучами 200/300 кГц
Аварийный маяк	ORE 6702 акустический транспондер в кормовой части аппарата с запрашивающей ГАНС с УКБ ORE LXT – 11 кГц
Прочный корпус	Выполнен из алюминиевого сплава толщиной 50 мм и длиной 4.5 м. Состоит из 5 секций

Операция по укладке кабеля осуществлялась следующим образом. Двумя тельферами грузоподъемностью по 5.5 т каждый «Theseus» был опущен в прорубь 2×13 м и 17 апреля 1996 г. в 00:22 начал движение по маршруту (рис. 8, 9).



Рис. 8. Карта маршрута движения «Theseus»

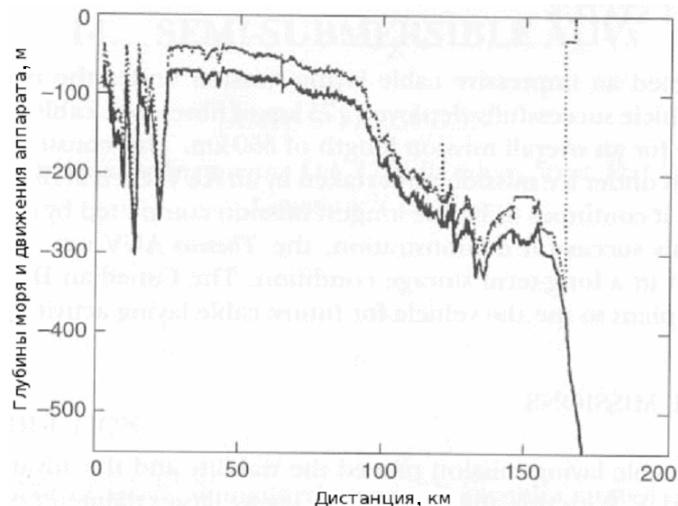


Рис. 9. Профиль глубины дна (сплошная линия) и движения «Theseus» (пунктирная линия)

С помощью телеметрии и системы самонаведения аппарат успешно прошел первую и вторую базы (рис. 8), но остановился перед третьей. Как выяснилось позже, акустический маяк третьей базы не функционировал. Поэтому наведения на маяк не было. После короткой остановки аппарат продолжил движение в автоматическом режиме. Через 25 ч после старта, пройдя 175 км, «Theseus» достиг третьей базы и остановился в 1600 м от подъемной петли. Из-за нечеткой работы системы самонаведения конечный этап прохода аппарата через петлю осуществлялся командами оператора по оптоволоконному кабелю из пункта старта. Информация о местоположении аппарата передавалась оператору по радио из конечного пункта. После завершения операции по подъему кабеля на поверхность «Theseus» вернулся в исходный пункт. В общей сложности аппарат находился подо льдом около 60 ч и прошел 350 км.

Большой диаметр корпуса аппарата «Theseus» позволяет ему в будущих миссиях осуществлять транспортировку нескольких малогабаритных АНПА, расширяя функциональные возможности такого комплекса.

В 2001 г. ISE начала развитие модульных АНПА класса «Explorer» для работы в полярных условиях. Аппараты «Explorer» разрабатывались с учетом 22-летнего опыта эксплуатации аппаратов ARCS и «Theseus». Первые два аппарата «Explorer 3000» (рис. 10) были поставлены в 2004 и 2005 гг. французскому исследовательскому агентству IFREMER [8]. Они имеют приборную комплектацию французской фирмы Cybernetix, отличающуюся от стандартной комплектации ISE.

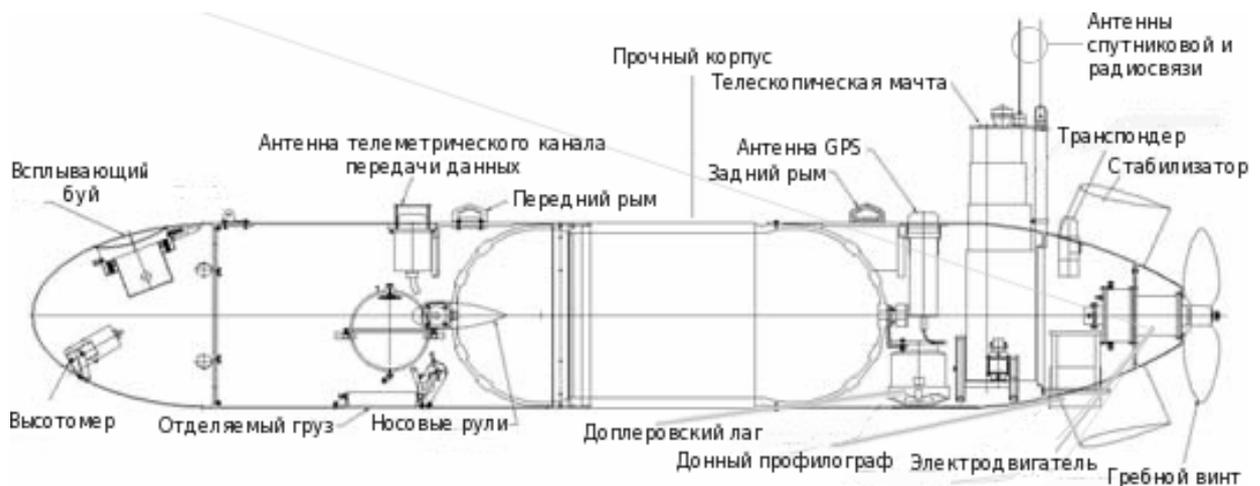


Рис.10. АНПА «Explorer 3000» (вверху – компоновка, внизу – спуск на воду).

В 2004 г. два аппарата «Explorer 3000» приобрели университеты USM (University of Southern Mississippi) и MUN (Memorial University of Newfoundland). В 2006 г. был получен заказ на аппарат «Explorer 5000» от Бременского университета в Германии. В 2009 г.

два аппарата «Arctic Explorer 5000» (рис. 11) были переданы центру природных ресурсов Канады NRC (Natural Resources Canada) для проведения исследований в Арктике.

Аппараты «Explorer» снабжены гидролокаторами бокового обзора и многолучевыми эхолотами для 3D-картографирования морского дна, высокоточной интегрированной инерциальной системой навигации и гидроакустической навигационной системой с ультракороткой базой, системами акустической, радио- и спутниковой связи, аварийными системами. Особенностью аппаратов является наличие выдвижной телескопической мачты с антенными устройствами высотой 1 м.

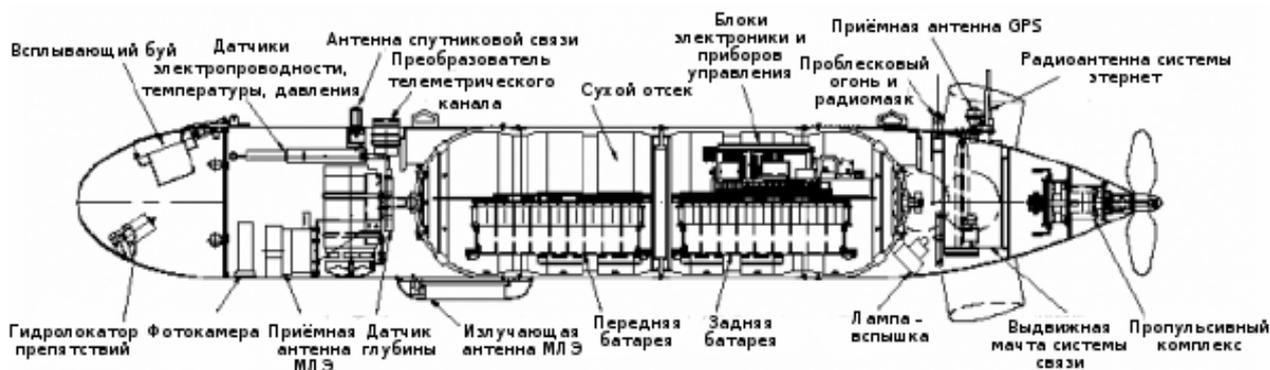


Рис. 11. АНПА «Arctic Explorer 5000» (вверху – компоновка, внизу – общий вид).

Варьируемая длина аппаратов «Explorer» составляет от 4.5 до 6.0 м за счет многосекционной конструкции прочного корпуса или проникаемых оконечностей. Диаметр корпуса – от 0.69 до 0.74 м, вес аппаратов – от 750 до 1250 кг. В качестве источников энергии используются блоки литий-ионных батарей по 1.6 кВт·ч каждая, обеспечивающих при скорости 3 узла дальность хода 120, 240 или 360 км при обеспечении блока полезной нагрузки мощностью 75 Вт. Аппаратура и устройства в сухом отсеке устанавливаются на стеллажах 0.48×0.48 м. Разработанное программное обеспечение системы управления позволяет интегрировать в нее новое оборудование. В табл. 2 приведен состав основного оборудования АНПА «Explorer».

Морские испытания аппаратов «Explorer», проведенные центром IFREMER (рис. 12, 13), показали высокие технические характеристики систем и низкую операционную стоимость [8].

Начало арктических испытаний аппаратов «Arctic Explorer 5000» (рис. 14, 15) центром NRC было запланировано на март 2009 г.



Рис. 12. Морские испытания ПА «Explorer».



Рис. 13. Спуско-подъемное устройство НИС IFREMER с аппаратом «Explorer 3000».



Рис. 14. Два аппарата «Arctic Explorer» на борту канадского исследовательского судна.



Рис. 15. Аппарат «Explorer» в водах Арктики.

Таблица 2

**Состав оборудования АНПА «Explorer»**

Система навигации	IxSea волоконно-оптический или Kearfott лазерный гироскопический блок инерциальной навигации
Датчик скорости	Teledyne RDI Workhorse 300 или 600 кГц доплеровский лаг
Система позиционирования	Motorola GPS антенна, транспондер ГАНС с УКБ
Датчик глубины	Кварцевого типа с цифровым выходом
Датчик высоты	Kongsberg Meso 675 кГц, цифровой высотомер
Система акустической связи	ORCA MATS 200 или Link Quest UMW 4000
Радиотелеметрический канал	900 или 2400 МГц радио, спутниковая система Iridium
Аварийные системы	ORE LXT транспондер, Novatech строб, Novatech RF радиомаяк, сбрасываемый груз 23 кг
Масса полезной нагрузки	200 кг

Наибольший объем исследований в ледовых условиях Арктики и Антарктики с использованием АНПА выполнен по программе «AUTOSUB Under Ice» (AUI) Совета по исследованию природной окружающей среды NERC (Великобритания) [9, 10]. Цель программы – исследование физических и биологических процессов под полярными льдами. С момента обсуждения идеи применения АНПА в полярных исследованиях

(1989 г.) и по 2007 г. инженерами и океанографами из национального океанографического центра в Саутхемтоне NOCS было разработано и изготовлено четыре аппарата класса AUTOSUB (AUTOnomous SUBmersible): AUTOSUB 1 (1991); AUTOSUB 2 (2000); AUTOSUB 3 (2004); AUTOSUB 6000 (2007).

Первая 18-месячная научная программа «AUTOSUB Science Missions» с использованием AUTOSUB 1 началась в 1999 г. Частью этой программы было проведение первых экспериментов в полярных условиях в 2001 г. Базируясь на НИС «James Clark Ross» AUTOSUB 1 совершил шесть выходов у кромки льда и подо льдом моря Веделя, в Антарктике. Исследовалось распределение криля и зоопланктона с помощью Simrad EK500 исследовательского эхолота (массой 105 кг) с частотами приемно-излучающих антенн 38 и 120 кГц. Удалось запустить аппарат под айсберг и измерить с помощью 4-лучевого ADCP его осадку (свыше 170 м). Была определена возможность измерения скорости аппарата относительно льда с помощью ADCP. Столкновение в одном из выходов AUTOSUB 1 с небольшим айсбергом и повреждение носовой части аппарата произошли из-за отсутствия надежной системы обнаружения препятствий. Ложные срабатывания носового эхолота от скопления криля потребовали разработки новых алгоритмов обработки сигналов. Одним из выводов экспедиции было признание необходимости хранения и приготовления аппарата не на открытой палубе, а в теплом помещении. Для этих целей в будущих экспедициях предлагалось использовать два оборудованных и отапливаемых 20-футовых судовых контейнера. В общей сложности AUTOSUB 1 прошел подо льдом свыше 100 км на глубине 80–120 м.

Пятилетняя программа «AUI» стоимостью 9 млн долл. США была запущена в 2001 г. и ориентировалась на использование аппарата AUTOSUB 2 (рис. 16). После его утраты подо льдом в 2004 г. работы были продолжены с аппаратом AUTOSUB 3 аналогичной конструкции.

По сравнению с первым аппаратом глубина погружения AUTOSUB 2 была увеличена с 500 до 1600 м за счет замены одного прочного корпуса большого диаметра из стеклопластика на 7 цилиндрических резервуаров 3-метровой длины меньшего диаметра из углепластика. Резервуары объединены в единую матрицу цилиндрическим блоком синтактика [11].

Семь резервуаров были использованы ввиду технологических трудностей изготовления одного корпуса большого диаметра. В четырех корпусах размещались элементы источника энергии, в трех других – электронные блоки системы управления и датчиков.

Технические показатели AUTOSUB 2: длина – 6,7 м, диаметр корпуса – 0,9 м; вес – 3600 кг, масса источника энергии – 700 кг (в два с лишним раза больше, чем у AUTOSUB 1), скорость хода – 1,7 м/с, дальность хода – 400 км с потребляемой мощностью 1 кВт. В качестве источника энергии в аппарате использовались первичные (одноразовые) марганцево-цинковые элементы с запасом энергии 60 кВт·ч. Первичные элементы были выбраны из условия возможной потери аппарата, вероятность которой оценивалась величиной 0,5. Аппарат имел рамную конструкцию из алюминиевого сплава, с проницаемыми носовой и кормовой оконечностями, закрытыми обтекаемыми стеклопластиковыми панелями (рис. 17).

В кормовой части размещались подсистемы навигации, управления рулями и гребным электродвигателем, а также научная аппаратура (цифровая фотокамера, вверхсмотрящий акустический доплеровский профилограф течений – 300 кГц Teledyne RDI ADCP, приемная антенна 200 кГц многолучевого эхолота). Движителем служил пятилопастной гребной винт, органами управления аппаратом по курсу, дифференту и глубине – вертикальные и горизонтальные рули (рис. 18).

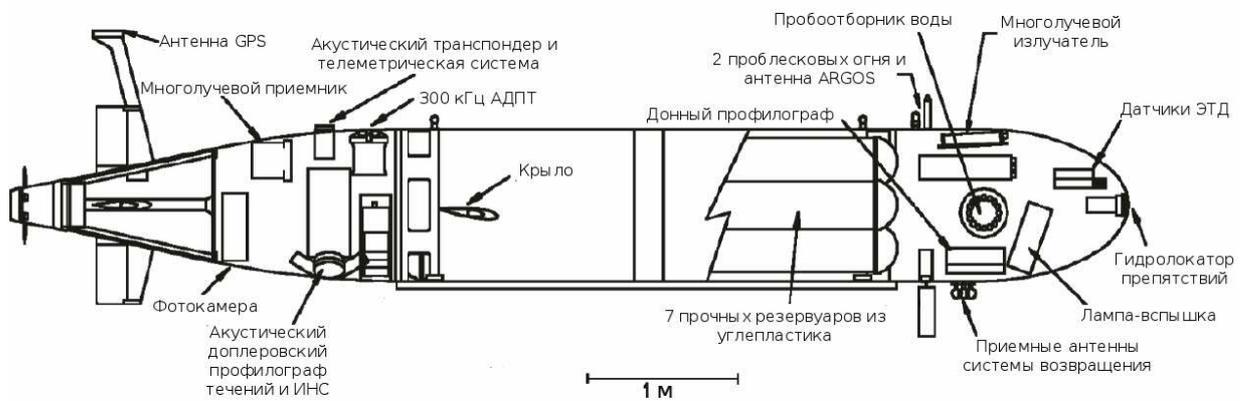


Рис. 16. АНПА AUTOSUB 2 (вверху – спуск на воду, внизу – компоновка).



Рис. 17. AUTOSUB 2 на палубе НИС «James Clark Ross».



Рис. 18. Двигатель и рули AUTOSUB 2.

В носовой части размещались: впередсмотрящий гидролокатор препятствий, система аварийной остановки, система возвращения, передатчик системы Argos, светильники фотосистемы, а также датчики электропроводности–температуры–давления Seabird 911 STD, излучающая антенна многолучевого эхолота, донный профилограф Edge Tech SBP, пробоотборник воды AquaLab.

Объективно сложные полярные условия функционирования – длительное пребывание подо льдом без возможности корректировки траектории по GPS, наличие сужающихся водных каверн под ледниковым щитом в Антарктике с неизвестной толщиной и профилем льда, изменяющаяся плотность воды не только по глубине, но и по площади, быстро меняющаяся ледовая обстановка в районе спуска и подъема, малые размеры полыньи или проруби – предъявляют повышенные требования к точности и надежности систем навигации и управления аппаратами ледового типа.

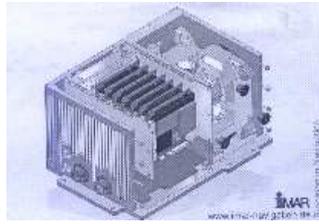
Наиболее точными инерциальными навигационными системами (ИНС) для АНПА подобного класса являются системы KN-5053 (Kearfott), KN-6050 SeaDevil (Kearfott), iNAV-RQH-AUV (iMAR), MARPOS, IxSea PHINS и др. [12–14], дополняемые доплеровскими лагами [15]. Инерциальные блоки могут выполняться отдельно (рис. 19) или механически объединяться с доплеровскими лагами (рис. 20). Доплеровские лаги для АНПА (рис. 21) имеют частоты 150/200/300/600/1200 кГц. В зависимости от комплексования ИНС доплеровскими лагами различной частоты, приемниками спутниковой навигации, датчиками давления и ГАНС точности навигационных систем могут изменяться и составлять 0.02–0.50 % пройденной дистанции. Размеры ИНС KN-5053 составляют 28×18×18 см, масса – 8 кг; KN-6050 – 46×23×23 см, масса с прочным корпусом на глубину 1000 м – 20 кг.

В аппарате AUTOSUB 2 для навигации использовались два первичных датчика [11]: акустический доплеровский профилограф течений 150 кГц Teledyne RDI ADCP и инерциальная навигационная система (ИНС) на базе волоконно-оптических гироскопов IxSea – Oceano PHINS. На широте 80°N ошибки системы не превышали 0.1 % пройденной дистанции. Использование сравнительно низкочастотного доплеровского профилографа объясняется необходимостью отслеживать морское дно с достаточно больших высот – более 500 м. Навигационная система могла также взаимодействовать с доплеров-

ским профилографом (300 кГц), направленным в сторону льда. Во время движения под неподвижным ледниковым щитом траектория аппарата могла определяться по скорости перемещения относительно льда. В случае дрейфующего морского льда в глубоких водах траекторные вычисления вызвали значительные затруднения.



а)



б)

Рис. 19. ИНС: а – KN-5053 (Kearfott), б – iNAV-RQH-AUV (iMAR).



Рис. 20. ИНС KN-6050 SeaDevil (Kearfott) с DVL

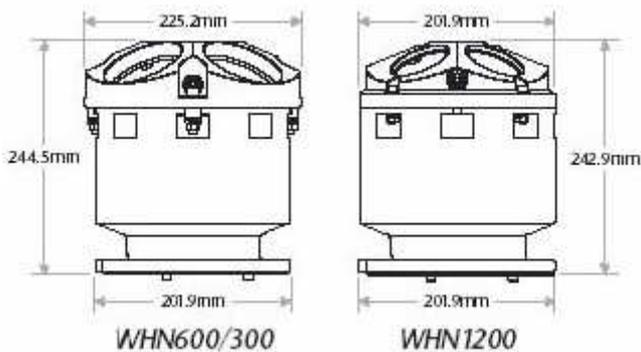


Рис. 21. Доплеровские лаги серии Workhorse (RD Instruments).

Многочисленные риски при движении АНПА в полярных водах, столкновение с айсбергом AUTOSUB 1 в экспедиции 2001 г. потребовали разработки систем обнаружения препятствий, аварийного аппарата и соответствующего алгоритмического и программного обеспечения. Такие системы на AUTOSUB 2 были испытаны в 2004 г. в условиях Арктики.

Система обнаружения препятствий базировалась на уже опробованной элементной базе: четырехлучевых профилографов течений системы навигации, кварцевого датчика давления и направленного вперед Simrad Mesotech 120 кГц эхолотатора. Методической основой явилось использование простейшего алгоритма обхода препятствий. В качестве препятствий идентифицировались: преграда на пути следования аппарата, обнаруживаемая передним гидролокатором ближе 100 м и уменьшение глубины до 50 м.

На рис. 22 и 23 показан случай обхода выступающего 30-метрового гребня льда, возникшего на 120-километровом пути движения AUTOSUB 2 вдоль северо-восточного побережья Гренландии.

Аппарат успешно преодолел препятствие с третьей попытки. Для этого ему пришлось вернуться на 500 м назад по начальной траектории после обнаружения препятствия, перепланировать траекторию, сделать вторую неудачную попытку, снова вернуться и еще раз изменить траекторию.

В случаях встречи непреодолимого препятствия или критического расхода запаса энергии аппарат останавливается и включает аварийный маяк. На 15-метровом кабеле опускается сферическая антенна, излучающая одну посылку в минуту на частоте

4.5 кГц. Посылку принимает вертикальная антенна, разворачиваемая с судна-носителя до глубины 100 м. Судно меняет позицию и по трем или более положениям определяет местоположение аппарата на расстоянии до 30 км.



Рис. 22. Траектория движения AUTOSUB 2 между льдом (верхний контур) и дном (нижний контур) у северо-восточного побережья Гренландии.

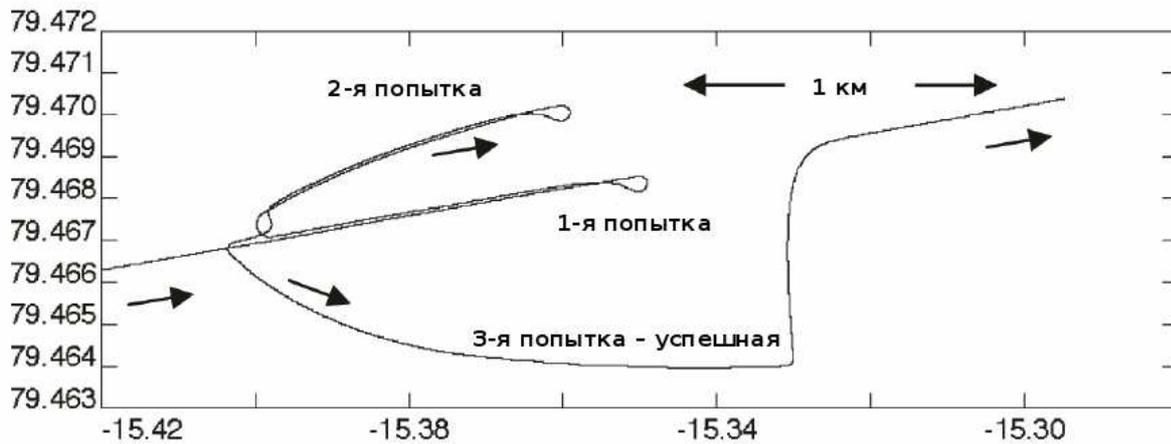


Рис. 23. План (широта–долгота) обхода 30-метрового гребня льда АНПА AUTOSUB 2.

Для возвращения аппарата в исходное место или другое, по условиям ледовой обстановки, на AUTOSUB 2 были установлены в нижней части корпуса три гидрофона (рис. 24).

Трехканальный корреляционный приемник позволял определять направление излучаемого судном-носителем сигнала на частоте 4.5 кГц с расстояния 15 км. При получении четырех посылок аппарат изменял направление движения на место излучаемого сигнала. Необходимость гидроакустической системы возвращения АНПА определялась невозможностью использования радиосистемы, например Argos, при образовании вокруг судна сплошного ледяного покрова и невозможностью всплытия аппарата в данном месте. С помощью этой системы в 2004 г. у северо-восточного побережья Гренландии AUTOSUB 3 был возвращен при вынужденном изменении местонахождения судна на 4 км по отношению к месту старта АНПА.



Рис. 24. Гидрофонный блок системы возвращения AUTOSUB 2.

Ограниченные размеры пространства свободной воды в месте спуска аппарата потребовали изменения способа запуска гребного электродвигателя. В носовой части аппарата закреплялся 20-килограммовый груз. При отделении от спускоподъемного устройства аппарат быстро уходил под воду. На глубине 15–20 м груз отделялся и запускался электродвигатель. Гарантированное отделение груза обеспечивалось программным устройством, а при его отказе – пассивным гидростатическим способом.

Необходимые гидродинамические показатели аппарата обеспечивались при постоянной 8–12-килограммовой положительной плавучести, с корректировкой после взятия пробы воды в месте спуска. Однако, например, при работе вблизи ледника Восточной Гренландии, вертикальный градиент изменения плотности воды у поверхности и на глубине 6 м составил  $4 \text{ кг/м}^3$ . На рабочей глубине аппарата его положительная плавучесть увеличилась на 10 кг, и аппарат оказался на пределе управляемости по глубине. Для улучшения гидродинамических качеств аппарата немного позади центра тяжести были установлены короткие поворотные крылья  $160 \times 254 \text{ мм}$ , которые создавали компенсирующую вертикальную силу.

Круг научных исследований, проведенных AUTOSUB 2 и AUTOSUB 3 в 2002–2005 гг., включал наблюдения льда, океана и морского дна. Для этих целей на аппараты устанавливалось соответствующее оборудование. Гляциологические измерения и геофизические исследования морского дна осуществлялись многолучевым эхолотом Kongsberg Simrad EM 2000 и донным профилографом Edge Tech. Океанографические данные собирались с помощью (150 и 300 кГц) доплеровских акустических профилографов течений и двух пар датчиков температуры и электропроводности Seabird 911 CTD.

Многолучевой эхолот EM 2000, работающий на частоте 200 кГц, имеет 111 лучей с угловым разрешением  $1.5$  и  $2\text{--}4^\circ$  в поперечном и продольном направлениях. Угол расхождения лучей  $120^\circ$  позволяет иметь полосу обзора около 300 м с расстояния 250 м до обозреваемой поверхности. Среднеквадратичное отклонение в измерении глубины – не более 10 см при любом угле наклона луча.

Донный профилограф EdgeTech оперировал на 4–16 кГц и определял стратификацию осадочного слоя донного грунта на глубину несколько десятков метров с разрешением 6–10 см.

Датчики температуры и электропроводности Seabird 911 имели хорошую стабильность и высокую точность при регулярной их калибровке. Установленная норма дрейфа составляла  $0.002^{\circ}\text{C}/\text{А}$  и  $0.0024 \text{ См}/\text{А}\cdot\text{м}$ .

Профилографы течений одновременно выполняли функции навигационных приборов и гидрофизических измерителей с типичными дальностями разрешения 100–200 м вниз (150 кГц) и около 100 м вверх (300 кГц) от траектории движения.

Установленная на AUTOSUB цифровая фотокамера Starlight SXV-H9 позволяла получать фотографии бентоса подо льдом и прямоугольные снимки морского дна размером 2.2 м в диагонали с высоты 10 м и с разрешением  $1040 \times 1394$  пикселей. Изображения записывались на твердый диск и могли передаваться по радиоканалу.

С помощью пробоотборника Envirotech AquaLub (рис. 25) в 49 пластиковых пакетах, емкостью по 0.5 л каждый, собирались пробы воды для проведения измерений широкого спектра ее свойств, чаще всего – для оценки соотношения тяжелых и легких изотопов кислорода, концентрации бария и нитратов. Перед спуском аппарата на воду пакеты должны заполняться начальным объемом жидкости (200 мл) во избежание разрушения трубчатых соединений под действием гидростатического давления. Пробы могли отбираться по времени или по логическим событиям на любой глубине [16].



Рис. 25. Пробоотборник воды Envirotech AquaLub.

При выполнении миссии 382 в феврале 2004 г. в Восточной Антарктике AUTOSUB 2 совершил уникальное погружение в водную каверну под ледниковым щитом Fimbul [11, 17]. Многолучевой эхолот был направлен вверх. С его помощью впервые были получены акустические 3D-изображения нижней поверхности ледникового щита шириной 150 м и протяженностью 18 км. Одновременно, по всему пути движения аппарата, с помощью двух ADCP и датчиков CTD измерялись скорость и направление течений выше и ниже траектории движения, температура и соленость воды. Ниже представлены: траектория движения аппарата (рис. 26, а) протяженностью 60 км (56 км подо льдом), данные океанографических измерений (рис. 26, б, в) и фрагмент изображения нижней кромки льда на 18.9–21.5-километровом отрезке обратного пути (рис. 26, г).

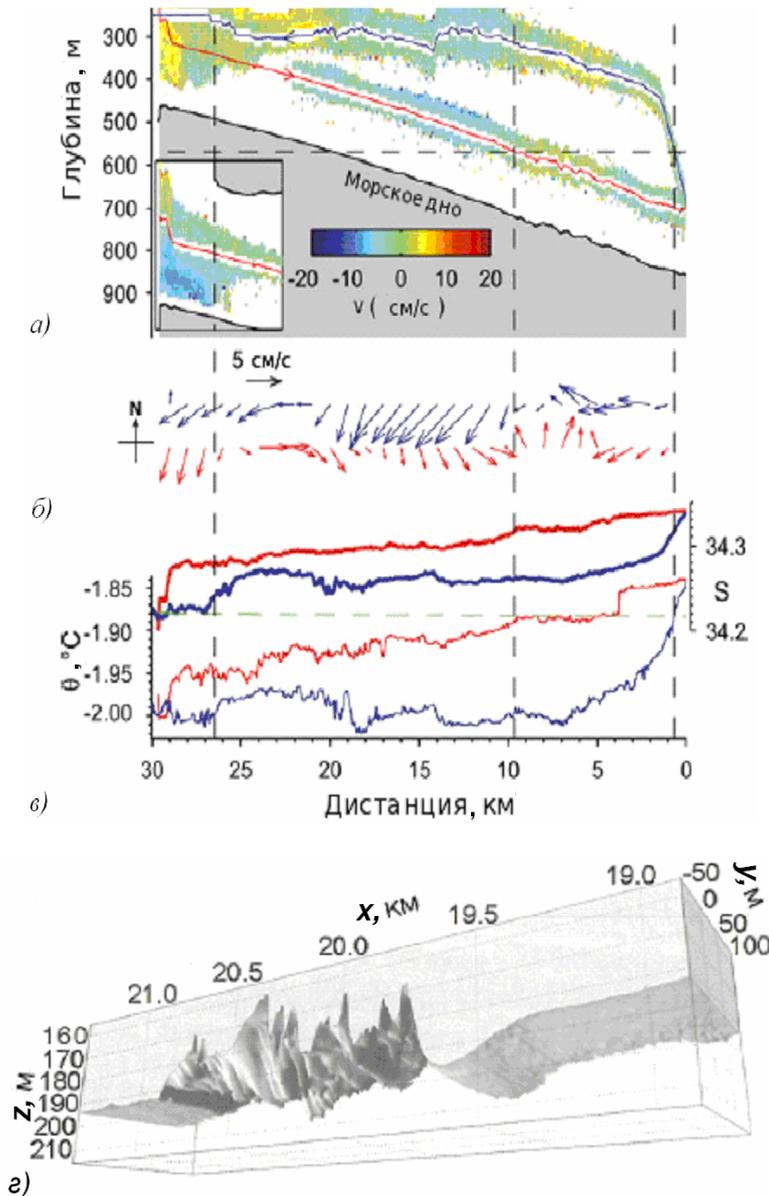


Рис. 26. Траектория движения AUTOSUB 2 и данные измерений под нижней кромкой ледового шельфа Fimbul в Антарктике.

ские модели, описывающие термальные и циркуляционные процессы водных масс в полярных и приполярных районах, процессы таяния льда, ослабление волн морским льдом, изменения климата Земли.

Многочувствительным эхолотом аппарата AUTOSUB 3 в 2004 г. были получены трехмерные изображения и прибрежных паковых льдов толщиной 1.8–5 м с подводными гребнями до 33 м у северо-восточного побережья Гренландии. Собраны океанографические данные под дрейфующими льдами на суммарной протяженности пути 450 км.

В новом проекте AUTOSUB 6000 (рис. 27) глубина погружения увеличена до 6000 м за счет применения литий-полимерных батарей погружного исполнения и исключения семи прочных корпусов [18, 19]. Батарея, состоящая из 12 параллельных блоков (рис. 28), размещена в центральной части аппарата. С двух сторон она закреплена блоками синтактика. Использование более энергоемкого источника энергии позволило уменьшить длину аппарата до 5.5 м и массу до 2800 кг. При этом мощность для полез-

Штриховые вертикальные линии на 26.5 км отмечают кромку льда со стороны открытой воды и начало движения аппарата подо льдом у дна, линия на 0 км – точку поворота назад и начало движения вблизи льда. Хаотичной формы истончения льда до 9–30 м на небольшом участке (рис. 26, *з*) по сравнению с гладкой поверхностью – потенциальное место разлома льда. Оно соответствует 570-метровой отметке глубины (штриховая горизонтальная линия на рис. 26, *а*). Изображение на рис. 26, *б* показывает изменение величины и направления скорости течений по маршруту следования, а графики на рис. 26, *в* – изменение температуры (верхняя кривая) и солёности воды (нижняя кривая).

AUTOSUB 2 был потерян при выполнении следующей, 383-й, миссии, в 17 км от кромки льда по невыясненным обстоятельствам (аварийный сигнал был зафиксирован). Собранные с его помощью данные помогли ученым понять многие механизмы и явления взаимодействия водных масс и льда, уточнить математиче-

ной нагрузки увеличена до 250 Вт, а объем, отводимый под полезную нагрузку в носовой части, – до 0.5 м<sup>3</sup>.

Повышена навигационная точность (0.1 % пройденной дистанции). Установлена двухсторонняя гидроакустическая телеметрическая система передачи данных и отслеживания траектории Linkquest TrackLink 10 000 с ультракороткой базой. Система управления позволяет поддерживать постоянную глубину при движении в свободной воде или отслеживать профиль дна (льда) с отстояния 5–200 м. Накопленная на жесткий элемент памяти информация (200 Гбайт) выгружается через WiFi со скоростью 100 Мбит/с. AUTOSUB 6000 может проходить дистанцию 400 км на скорости 1.6 м/с. Первые успешные глубоководные испытания аппарата проведены с борта НИС «Discovery» в 2007 г. Программа развития и эксплуатации AUTOSUB 6000, разработанная NERC до 2025 г., предусматривает дальнейшее усовершенствование систем аппарата. Для проведения исследований будет использовано новейшее НИС «James Cook». Планируется исследование гидротермального клина над хр. Гаккеля в Арктике под паковым льдом и многоплановые исследования под ледниковым щитом Ross в Антарктике.



Рис. 27. АНПА AUTOSUB 6000.



Рис. 28. Блок литий-полимерной батареи погружного исполнения аппарата AUTOSUB 6000.

Кроме больших АНПА для проведения отдельных видов исследований использовались аппараты среднего и малого водоизмещения.

Аппараты США: «Odyssey 2», REMUS (Remote Environmental Monitoring Unit System), «Fetch», планирующий аппарат «Slocum» выполняли океанографические измерения в полярных районах. Массы этих аппаратов небольшие и составляют 200–36 кг, что значительно упрощает и удешевляет выполнение некоторых исследовательских операций. Вместе с тем прогрессирующее развитие технических средств позволяет малогабаритным АНПА выполнять функции, идентичные большим аппаратам. Например, АНПА «Odyssey 2» (рис. 29) по своему приборному оснащению не уступает аппарату AUTOSUB 3, но легче последнего в 18 раз. Он имеет длину 2.2 м, наибольший диаметр – 0.58 м, скорость – 1.5 м/с, дальность хода – 100 км, что соответствует требованиям к аппаратам, работающим подо льдом [20]. Глубина погружения аппарата – 3000 м.

Портативный аппарат ATMV (Autonomous Microconductivity Temperature Vehicle) с базовой основой REMUS успешно использовался для исследования турбулентных процессов в верхних слоях воды под арктическим плавающим льдом.

Знание подводной формы и геометрии айсбергов важно при моделировании и оценке рисков для нефтегазового оборудования, размещаемого в северных морях. Для

подобных измерений была предложена методика и проведены испытания с использованием планирующих аппаратов (gliders). Аппарат «Slocum» (рис. 30) с перевернутым штатным однолучевым эхолотом, установленным в носу под углом  $26^\circ$  к вертикальной оси, запускался несколько раз с различными пересечениями под айсберг (рис. 31). Получаемые результаты позволяют иметь необходимую информацию о форме и размерах подводной части айсберга.

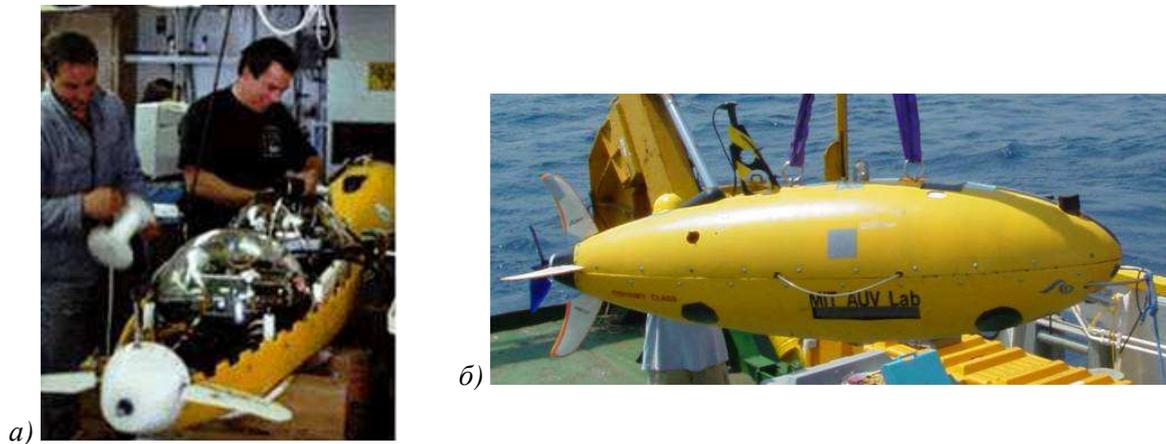


Рис. 29. АНПА «Odyssey 2»: прочные сферические корпуса из акрила (а) и форма корпуса минимального гидродинамического сопротивления (б).



Рис. 30. Планирующий аппарат «Slocum».

Опыт работы в полярных условиях показал целесообразность совместного использования аппаратов большого и малого водоизмещения.

Интерес к полярным исследованиям с использованием АНПА проявляют Германия, Дания, Норвегия, Япония – страны, обладающие аппаратами ледового класса: Deep C, MARIDAN, SeaOTTER, HUGIN 3000 и 4500, «Ura-shima». В этих аппаратах применены самые передовые технологии в области энергетики: электрохимические генераторы с топливными элементами  $H_2/O_2$  и твердополимерными мембранами (электролитом), а также батареи полутопливных элементов  $Al/H_2O_2$ , обеспечивающие автономность более двух суток.

**Интерес Российской Федерации** в этой области определяется рядом решающих факторов:

- обширностью богатых сырьевыми (в первую очередь энергетическими) ресурсами территорий северных морей, покрытых льдом;

- слабой изученностью этих территорий;

- необходимостью научного и практического подтверждения прав Российской Федерации на расширение своей экономической зоны в северных широтах;

- необходимостью гидрографического обеспечения для расширения используемой зоны Северного морского пути и его надежного функционирования;
- перспективностью и целесообразностью коммерческого освоения арктических морских территорий, их охраны и рядом других факторов.

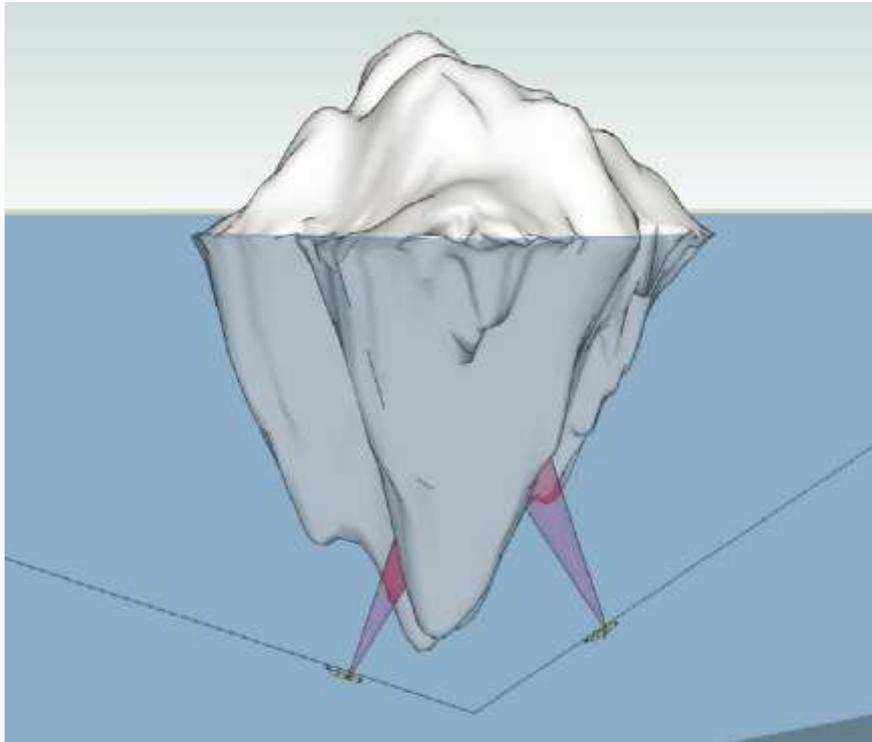


Рис. 31. Схема измерений подводной части айсберга аппаратом «Slocum».

Значительную помощь в решении проблем, сопровождающих эти факторы, может оказать использование АНПА. Однако в основных документах [21, 22] и многих целевых программах, определяющих политику Российской Федерации по освоению и использованию Арктики, нет даже упоминания об АНПА.

Уместно отметить, что первые идеи в нашей стране и начальные конструкторские проработки АНПА для ледовых условий относятся к 1985 г. При финансовой поддержке Главного управления навигации и океанографии ВМФ СССР, Институтом проблем морских технологий ДВО РАН был разработан макетный образец глубоководного АНПА, впоследствии названного «Тифлонус» [23]. По первоначальному замыслу он предназначался для проведения батиметрической съемки, гравиметрических измерений, измерений фазовой структуры акустических полей и флуктуаций течений как в открытом океане, так и подо льдом Арктики. Конструкция и форма аппарата определялись его назначением и обеспечивали достижение наименьшего сопротивления и высокой точности стабилизации в различных режимах движения (рис. 32).

Для коррекции выполняемой программы использовались команды телеуправления по гидроакустическому каналу. Аппарат был оснащен промерным эхолотом, гидролокатором бокового обзора, трехкомпонентным магнитометром, датчиками температуры и электропроводности. Имелась возможность установки гравиметра, фото- или видеокамеры. Штатный комплект серебряно-цинковых аккумуляторов мог обеспечить удаление аппарата от базы на 100 км.

Поскольку планировалась эксплуатация аппарата с ледовой базы, были проведены исследования, конструкторские проработки и натурные эксперименты, цель которых со-

стояла в проверке возможности осуществления подледной навигации и возвращения аппарата по сигналам акустического и электромагнитного маяков. Из-за отсутствия дальнейшего финансирования и прекращения работ в этом направлении аппарат был модифицирован для выполнения других целей.

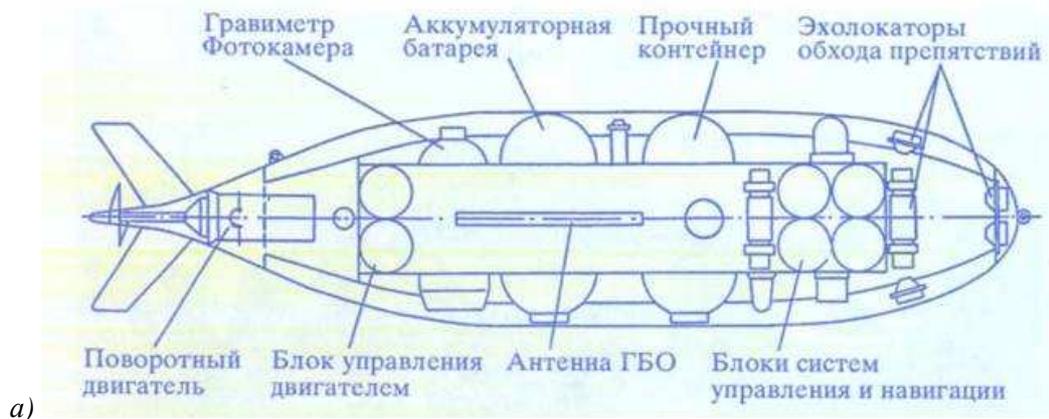


Рис. 32. АНПА «Тифлонус»: компоновка (а), общий вид (б).

Таким образом, имеющийся более чем 30-летний мировой опыт использования АНПА для работы в ледовом окружении, показал их уникальные возможности. Возрастающий интерес к освоению арктического шельфа, научная и экономическая целесообразность диктуют необходимость для Российской Федерации иметь аппараты ледового класса.

#### Литература

1. Intergovernmental Panel for Climate Change (<http://www.ipcc.ch/>).
2. Scott Doney. Effects of climate change and ocean acidification on living marine resources // Marine Scientist. 2007. N 20. P.5–7.
3. Peter Wadhams. Why Polar Science Is Important // Workshop on AUV Science in Extreme Environment // Proc. Intern. Sci. Workshop 11–13 April 2007. SUT. P.9–16.
4. Bitz, C., Holland M.M., Waver A.J., Eby M. Simulating the ice-thickness distribution in coupled climate model // J. Geophys. Res. 2001. 106 (C2). P.2441–2463.

5. *Mark CL Patterson, Antony Brescia.* Brief overview of Some Collaborative Efforts between UUVs and UAVs in the United States // Workshop on AUV Sci. in Extreme Environments. Proc. Intern. Sci. Workshop 11–13 April 2007. SUT. P.143–148.
6. *Боженов Ю.А., Борков А.П., Гаврилов В.М. и др.* Самоходные необитаемые подводные аппараты. Л.: Судостроение, 1986. 264 с.
7. *James S. Ferguson.* Cargo Carrying AUVs // Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles. London and New York, Taylor & Francis. 2003. P.217–226.
8. Информационное сообщение ISE, 2009 // [www.ise.bc.ca](http://www.ise.bc.ca).
9. Summaries of the NERC AUTOSUB Under Ice Projects // Proc. Intern. Sci. Workshop 11–13 April 2007. SUT. P.187–201.
10. *Stephen McPhail.* AUTOSUB Operations in the Arctic and the Antarctic // Proc. Intern. Sci. Workshop 11–13 April 2007. SUT. P.28–39.
11. *Dowdeswell J.A., Evans J., Mugford R. et al.* Autonomous Underwater Vehicles and Investigations of the Ice-Ocean Interface in Antarctic and Arctic Waters // J. Glaciol. 2003. V.54. N 187. P.661–672.
12. Seaborne Navigation System KN-5050 Family // Sheet Kearfott Corporation, 2008. <http://www.kearfott.com>.
13. Seaborne Inertial Navigation System KN-6050 Family // Sheet Kearfott corporation, 2008 // <http://www.kearfott.com>.
14. Jane's Underwater Warfare Systems 2009–2010. USA. 2010. 746 p.
15. Navigation ADCP/DVL User's Guide, 2001, 48 p. // RD Instruments // [www.rdinstruments.com](http://www.rdinstruments.com).
16. *Dodd P.A., Price M.R., Heywood K.J., Pebody M.* Collection of Water Samples from an Autonomous Underwater Vehicle for Tracer Analysis // J. Atm.Oceanic Techn. 2006. V.23. P.1759–1767.
17. *Holland, P.R., Feltham D.L.* The effects of rotation and ice shelf topography on frazil-laden ice shelf water plums // J. Phys. Oceanogr. 2006. V.36 (12). P.2312–2327.
18. *Stephen McPhail.* Successful first trials of the AUTOSUB 6000 AUV // AUTOSUB 6000 News Letter 1, October 2007, NOC, Southampton.
19. *Stephen McPhail.* AUTOSUB 6000 – a Long-Range and Deep-Diving AUV // Workshop on AUV Science in Extreme Environment // Proc. Intern. Sci. Workshop 11–13 April 2007. SUT. P.123–128.
20. *Nils Storkersen.* Future Technologies and requirements // Proc. Intern. Sci. Workshop 11–13 April April 2007. SUT. P.55–67.
21. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу. Утв. Президентом РФ от 18 сентября 2008 г., № 1969.
22. Федеральная целевая программа «Мировой океан» (подпрограмма «Освоение и использование Арктики», III этап, 2008–2012 гг.), утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации от 30 октября 2008 г., № 731.
23. Автономные подводные роботы: системы и технологии / Под ред. М.Д.Агеева. Институт проблем морских технологий. М.: Наука, 2005. 338 с.

Статья поступила в редакцию 24.12.2010 г.

