

Опыт применения автоматических дрейфующих устройств для исследования водной толщи и ледового покрова Арктики в начале XXI в.

С. В. Писарев, кандидат физико-математических наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт океанологии им. П. П. Шишова Российской академии наук» (ИО РАН)

Приводятся основные сведения о конструкциях и принципах работы современного парка автоматических передающих собранную информацию в реальном масштабе времени дрейфующих со льдом устройств, применяющихся с начала века для устойчивого многомесячного сбора сведений о верхних водных массах и характеристиках льда Арктики. Дается обзор технической документации и публикаций, а также личного опыта автора, полученного в международных арктических экспедициях в Центральной Арктике.

Ключевые слова: буй для измерения «баланса» морского льда, STD-измерения, арктические научные наблюдения.

Поступила в редакцию 14.12.2012

Начиная с середины 1990-х годов в природе Арктики наблюдается комплекс изменений, величины которых превышают те, что были зафиксированы за весь предыдущий почти столетний период инструментальных наблюдений. Если попытаться одним словом охарактеризовать происходящие изменения, то это «потепление». Несмотря на то что существуют различные обоснованные мнения о причинах и возможной продолжительности современного потепления Арктики [1], данные изменения в сочетании с другими экономическими и политическими обстоятельствами [2] к середине 2000-х годов взрывным образом усилили международный интерес к этому труднодоступному региону. В 2007—2009 гг. был проведен Международный полярный год (МПГ), появилось большое количество новых инициативных групп, комиссий и комитетов по изучению Арктики и, в частности, развитию систем наблюдений в этом все еще слабо изученном регионе. Новые организационные структуры добавились к старым. Систематизируя такие структуры перед докладом, посвященным наблюдениям в Северном Ледовитом океане, на московской конференции POGO (Partnership for Observation of the Global Oceans — взаимодействие в области наблюдений в Мировом Океане — <http://ocean-partners.org/meetings-and-workshops>) в январе 2010 г. автор настоящей статьи обнаружил только по ключевым словам в Интернете 48 существующих и 12 планируемых национальных

и международных сетей наблюдений, имеющих отношение к Арктике, а также 30 обсерваторий, 25 центров данных и информационных порталов и 24 организационных комитета. Работа 75—80% этих структур пока явно не приводит к проведению новых измерений или получению новых знаний на основе анализа прежних экспедиционных работ. Это косвенно свидетельствует о том, что хотя исследования в Арктике с различными целями чрезвычайно актуальны, их практическая реализация остается делом технически и организационно непростым и дорогостоящим.

Одним из общих декларируемых на сегодня подходов к измерениям в части Арктики — Северном Ледовитом океане, как, собственно, и в других районах Мирового океана, является создание комплексных систем наблюдений (рис. 1). Планируемые и отчасти реализуемые системы включают в себя достаточно традиционные судовые, а в покрытых льдом районах — ледокольные и дрейфующие на льду экспедиции. Эти традиционные работы хоть и имеют множество особенностей, связанных с реализацией в Арктике, тем ни менее используют те же технические средства, что и в других районах океана, и поэтому не являются исключительно «арктическими». Другой традиционный элемент систем — донные буйковые станции. В них используются измерители, применяющиеся только в районах, покрытых льдом. Прежде всего это сонары (Upper Looking Sonar — ULS),

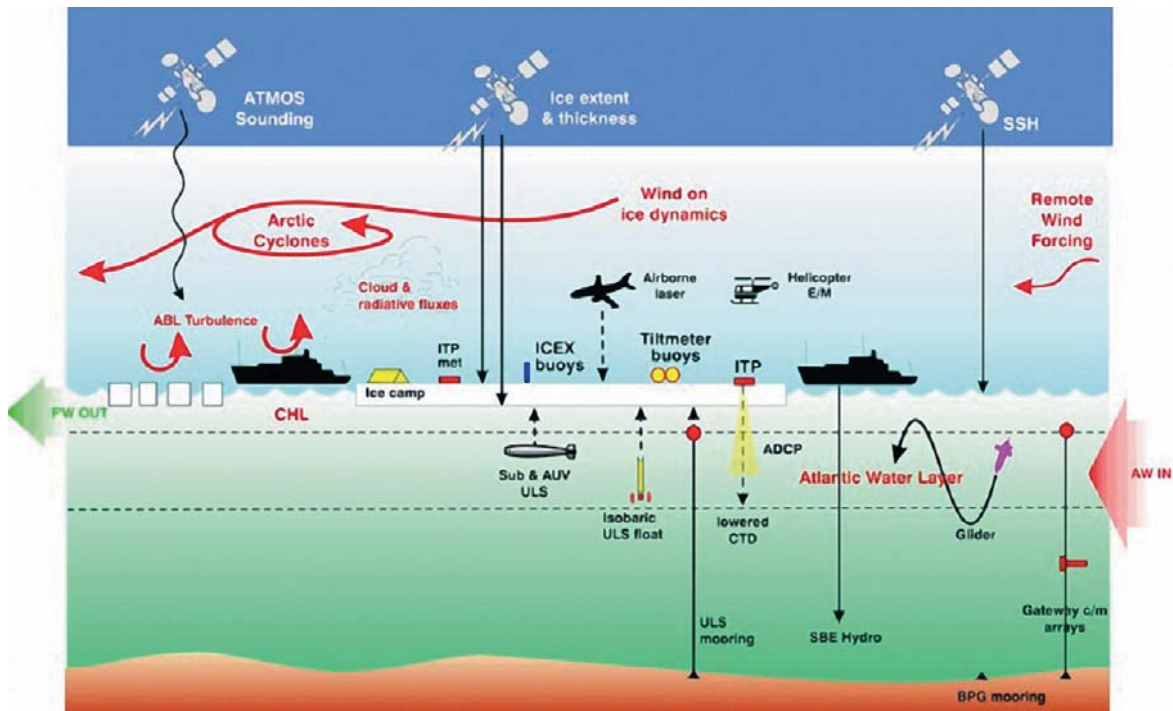


Рис.1. Схема измерений в Арктике, необходимых для диагноза современного и прогноза будущего состояния морского дрейфующего льда, в рамках международного проекта Integrated Arctic Ocean Observing System (IAOOS) – комплексная система наблюдений Северного Ледовитого океана. Рисунок скопирован из (Dickson, 2006)

закрепляемые в верхней части приотпленных буйковых станций и измеряющие из-под воды толщину дрейфующего над станцией льда (см., например, <http://imb.crrel.usace.army.mil/thickdat.htm>). Кроме того, это по крайней мере два типа подводных лебедок, которые после того, как сонар определил толщину льда, в автоматическом режиме периодически выпускают вверх океанографический зонд на горизонт примерно 5 м от нижней поверхности льда (рис. 2). Таким образом, удается получить и записать вертикальный профиль температуры, солености и иногда растворенного кислорода в верхних десятках метров подо льдом, с одной стороны, а с другой — не оторвать верхнюю часть буйковой станции в случае дрейфа над ней толстого льда с глубокой осадной или айсберга. Еще имеется специальная техника, позволяющая поднимать из-под льда всплывшие



Рис.2. Внешний вид на палубе подводной лебедки, с помощью которой CTD зонд (цилиндр, лежащий горизонтально сверху) периодически производит зондирование от верхнего окончания приотпленной буйковой станции к нижней поверхности дрейфующего льда (фото автора, 2011 год)

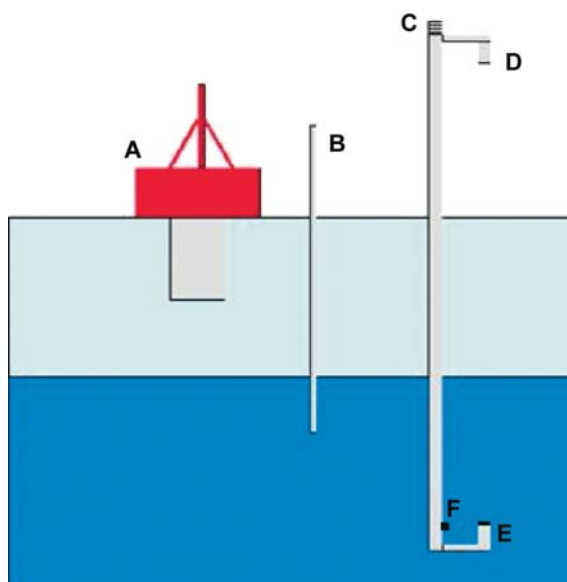


Рис.3. Схема основных узлов буя для измерения "баланса" морского льда — Ice Mass Balance Buoy (IMB). Рисунок взят с сайта <http://imb.crrel.usace.army.mil/>. Белым цветом обозначена воздушная среда, синим водная, лед обозначен голубым.

- A – блок опроса датчиков, сбора и передачи данных, GPS, блок батарей во льду, барограф.
- B – цепочка термисторов.
- C – датчик температуры воздуха.
- D – поверхностный акустический датчик.
- E – подводный акустический датчик.
- F – датчик температуры воды

по команде буйковые станции. Но из-за широты этой проблемы такие технические средства здесь рассмотрены не будут.

В настоящей статье рассмотрены только специфические «арктические» элементы наблюдательных систем. При этом, безусловно, дистанционные спутниковые или авиационные измерения в Арктике также можно отнести к специфическим «арктическим» хотя бы потому, что их основной объект — дрейфующий лед. Но и эти измерения рассматриваться не будут, в том числе потому, что зачастую это те же дистанционные устройства, которые дают снимки поверхности Земли. Иными словами, само выделение специфических «арктических» элементов измерительных систем в статье довольно условно.

Ограничим рассмотрение теми устройствами, которые изготовлены с расчетом на работу в условиях низких температур воздуха и установка которых предусматривается на морском льду. Собственно, в этом и состоит арктическая специфика. Кроме того, все эти устройства работают в автоматическом режиме по заранее заданным программам и передают результаты измерений по системе спутниковой связи на береговые компьютеры в реальном масштабе времени. Все они имеют стандартную GPS-навигацию и, таким образом, определяют свои координаты с точностью 15—25 м. Ниже рассмотрены устройства, которые в течение хотя бы нескольких месяцев демонстри-

ровали штатную работу, в результате которой были получены новые знания о природной среде. Еще одно ограничение — то обстоятельство, что рассматриваемые устройства производят измерения нескольких характеристик льда и водной толщи. Дрейфующие автоматические метеорологические станции или относительно простые буи, дрейфующие на поверхности льда и передающие информацию о своих координатах, атмосферном давлении и иногда о температуре воздуха, рассматриваться не будут. Все описываемые далее устройства уже являются коммерческим продуктом, выпускаемым поштучно или малыми сериями и имеющим гарантийные обязательства перед пользователем. Перечисленные ограничения сводят рассмотрение к техническим средствам, начавшим работу в Арктике в первое десятилетие XXI в. и производящим измерения главным образом в глубоководной части Северного Ледовитого океана — Арктическом бассейне.

Во всех возможных случаях даны ссылки на техническое описание устройств, однако сам краткий обзор написан с точки зрения пользователя, а не инженера-конструктора. Поскольку ни один производитель, как правило, не публикует информацию о недостатках или неудобствах своего продукта, это делает автор статьи на основании собственного практического опыта, полученного в международных арктических экспедициях на французской шхуне «Тара» летом 2006 г., немецком ледоколе «Полярштерн» осенью 2007 и 2011 гг., японском судне «Мирай» осенью 2009 г., а также при совместной работе экспедиций ИОРАН в приполюсном районе с американскими коллегами из Полярного центра Университета штата Вашингтон в сезонных зимних дрейфующих экспедициях 2007—2011 гг.

Запас автономного электропитания и механический ресурс всех рассматриваемых здесь устройств всегда превышает практическую продолжительность измерений. Основная причина прекращения измерений — разрушение льда, на который техническое средство было изначально установлено. Разрушение происходит из-за расколов и сжатий или в результате выноса льдины через пролив Фрама в Атлантику и последующего таяния. Именно поэтому при установке в Американо-Арктической части Арктического бассейна технические средства, как правило, работают дольше, поскольку не выносятся, а, влекомые крупномасштабным дрейфом льда, вращаются в круговороте моря Бофорта. Те же устройства, устанавливаемые где-то в Евразийской части Арктического бассейна, работают штатно не дольше года, поскольку выносятся Трансарктическим дрейфом в районы к югу от пролива Фрама. Для уменьшения вероятности деформации льдины ее по возможности тщательно выбирают. Алгоритм выбора ледовой платформы под любые рассматриваемые здесь устройства упрощенно выглядит как обнаружение монолитной однородной однолетней или многолетней льдины овальной формы, обторошенной по периметру. Правильный выбор льдины и, как следствие, про-

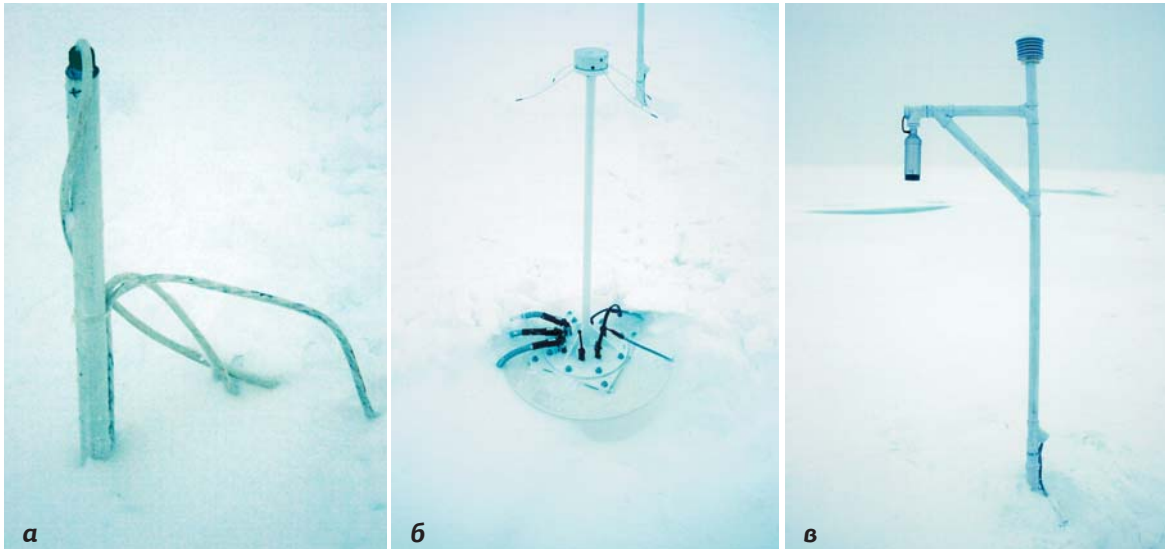


Рис.4. Внешний вид некоторых основных узлов буя для измерения “баланса” морского льда - Ice Mass Balance Buoy (IMB). Фотографии автора, 2007 год. (а) – блок опроса датчиков, сбора и передачи данных, GPS, блок батарей во льду, барограф. (б) – цепочка термисторов. (в) – поверхностный акустический датчик с датчиком температуры воздуха наверху

должительность «жизни» технического средства в сильной степени зависят от практического опыта работы в Арктике хотя бы одного из участников постановки. Помимо арктического опыта необходим и определенный тренинг по установке каждого устройства. Для персонала, имеющего экспедиционный опыт, установка рассмотренных ниже технических средств не представляет собой неразрешимую задачу. Но для исключения ошибок, иногда практически необратимых, при установке на лед необходима предварительная многократная имитация процесса установки в теплых комфортных условиях для доведения хотя бы до полуавтоматизма всех механических операций, а также производства электронных манипуляций с помощью компьютера на завершающем этапе установки.

Буй для измерения «баланса» морского льда — Ice Mass Balance Buoy (IMB) — имеет наиболее продолжительный период применения в Арктике среди всех рассматриваемых в этой статье устройств. Первый, тогда еще экспериментальный IMB был установлен в 1993 г. в море Бофорта в американском дрейфующем лагере SIMI. Затем был перерыв на четыре года, в течение которых конструкция буя дорабатывалась. В 1997 г. было установлено 7 буев. Затем, в 2000—2002 гг., — 1—2 буя ежегодно. К 2000-м годам конструкция буя претерпела несколько модификаций. В 2003—2006 гг. устанавливалось по 5—6 буев ежегодно. В течение Международного полярного года (2007 г.) было установлено 10 буев. К началу 2012 г. в Арктике уже отработали 69 таких буев, и продолжают измерения 8 IMB, установленных в 2011 г.

IMB был разработан USA Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL) — Исследовательской и инженерной лабораторией «холодных районов» Армии США [8]. Позже отработанная конструкция была передана для производства в канадскую компанию «MetOcean». IMB

в базовой конфигурации состоит из накопителя контроллера данных «Campbell Scientific» (модель CR10X), передатчика данных системы «Argos», цепочки термисторов YSI и двух акустических датчиков над поверхностью снега и льда и под водой. Верхний акустический датчик производится компанией «Campbell Scientific» (модель SR-50). Дешифровка сигнала этого датчика позволяет измерять не только нарастание или таяние льда, но и толщину снега. Нижний, подледный акустический датчик изготавливается компанией «Benthos» (модель PSA-916). Дополнительный температурный датчик расположен в воде у нижнего акустического датчика (рис. 3 и 4). Устройство снабжено также системой спутниковой навигации GPS, датчиком температуры воздуха и барометром компании «Vaisala» (используются модели PTB220A, PTB101B, PTB210A). Таким образом, IMB измеряет и передает в заранее запрограммированный момент времени на береговой компьютер данные о своем положении, температуре и давлении атмосферы, подледной температуре воды, температуре во льду, нарастании или таянии льда (<http://imb.crrel.usace.army.mil/>).

Изменения положения верхней и нижней границы льда относительно изначальной величины при установке IMB определяются с точностью до 5 мм. Датчики в цепи термисторов располагаются с шагом 10 см по вертикали, а размеры цепи могут быть легко увеличены для измерений температуры не только во льду, но и в нескольких метрах на воздухе и 10—20 м в водной толще. Точность всех температурных измерений — не хуже 0,1°C. Давление измеряется до десятых долей децибара. Частота опроса датчиков и передачи данных, вообще говоря, может быть выбрана любой, но практически составляет четыре-шесть раз в сутки. Ни один из 69 IMB пока не проработал в Арктике более полутора лет. Точная причина прекращения

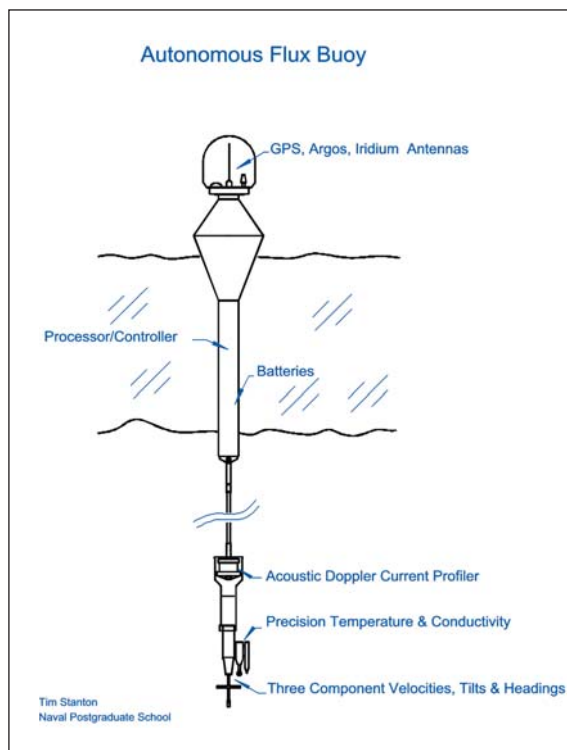


Рис.5. Схема Autonomous Ocean Flux Buoy (AOFB – автономный буй, измеряющий потоки тепла между океаном и льдом).

Рисунок взят с сайта <http://www.oc.nps.edu/~stanton/fluxbuoy/index.html>.

GPS, Argos, Iridium antennas – антенны системы навигации GPS, и систем спутниковой связи Аргос и Иридиум.

Processor/controller – вычислительный узел и узел опроса датчиков. Batteries – электрические батареи.

Acoustic Doppler Current Profiler – акустический доплеровский измеритель течения.

Precision Temperature & Conductivity – высокоточные термометр и ячейка кондуктивности.

Three Component Velocities, Tilts and Headings – измеритель трех компонент скорости воды, наклона и поворота

потоки тепла между океаном и льдом). AOFB был создан в лаборатории турбулентности отдела океанографии Школы дополнительного образования (аспирантуры) Военно-морских сил США в рамках проекта по созданию наблюдательных сетей в Арктике, финансируемого Национальным научным фондом США (<http://www.oc.nps.edu/~stanton/fluxbuoy/index.html>). Другое распространенное название устройства — буй Тима Стэнтон (Tim Stanton), по имени руководителя проекта. Буй был сделан специально для того, чтобы лучше определить вертикальные потоки энергии, тепла и соли между океаном, льдом и атмосферой. Устройство состоит из двух основных частей — поверхностного блока, устанавливаемого на льду, и подводного набора измерительных датчиков, соединенных с поверхностным блоком через серию разъемов (рис. 5 и 6). В поверхностном блоке расположен блок электроники, отвечающий за опрос датчиков, преобразование и передачу измеренных данных, антенна спутниковой связи «Iridium» и GPS-система. Здесь же содержится блок батарей, который, как и в случае с IMB, углублен в относительно теплый по сравнению с атмосферой лед [9, 10].

Измерительный блок, закрепленный на жесткой стальной мачте в двух-трех метрах от нижней поверхности льда, состоит из стандартного, направленного вниз 300 кГц акустического доплеровского измерителя течений (ADCP, RDI Workhorse), а также высокоточной ячейки электропроводности и платинового термометра (FSI, OEM C-T Sensor) и термистора с быстрым откликом. Этот блок снабжен также точечным трехкомпонентным измерителем течения, наклона и поворота (Falmouth Scientific Inc. (FSI), ACM 3D current meter). Набор этих параметров достаточен для вычисления перечисленных выше потоков. Опрос датчиков буя производится шесть-восемь раз в сутки. Каждый цикл измерений имеет продолжительность 20 мин. Из измеренных за 20 мин параметров процессор самого буя производит серию осреднений, а также вычислений статистических характеристик включая частотные спектры. Результаты расчетов передаются на береговой компьютер два раза в сутки, причем это двухсторонняя связь, иными словами, с берегового компьютера дистанционно можно изменять параметры работы AOFB.

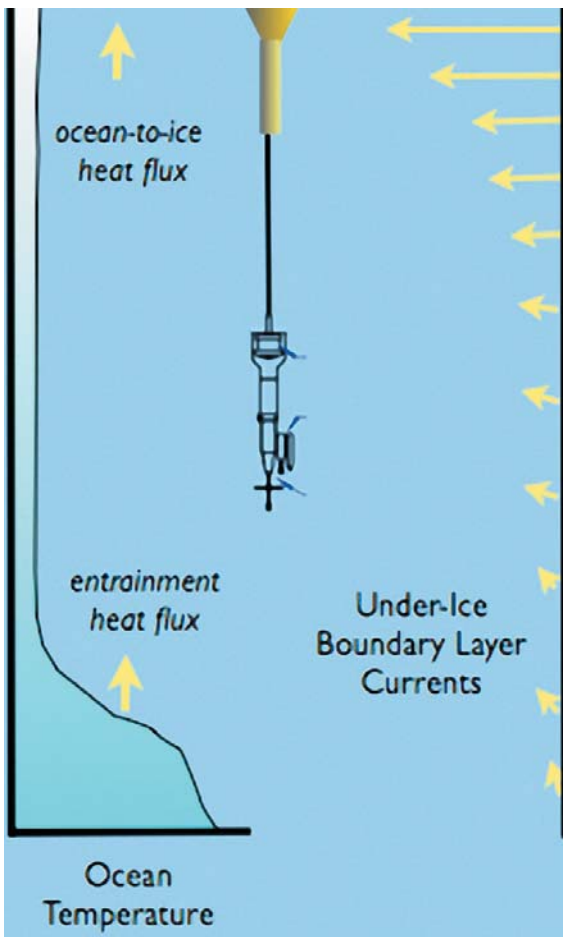
работы не всегда ясна и чаще всего принимается, что отказ произошел из-за механических поломок, связанных с деформацией льда. Два буя из 69 проработали по столь же неясным причинам меньше месяца.

Вес, габариты и сложность установки IMB позволяет, по мнению автора настоящей статьи, одному подготовленному человеку установить его за два-три часа. Но, безусловно, лучше это делать вдвоем или втроем. Из видимых недостатков IMB можно отметить один принципиальный. Желание найти стабильную ледовую платформу для продолжительной работы буя не позволяет практически измерять термодинамический цикл молодых, относительно тонких, форм льда. Только два буя из 77 устанавливались на лед тоньше 90 см. Непринципиальным недостатком является «хлипкость» пластиковых штанг, на которые крепятся акустические датчики толщины льда и снега. Одна такая штанга была просто погнута сильным ветром на IMB, установленном рядом с российской дрейфующей обитаемой станцией СП-38 в 2010 г. Элементарное усиление Г-образной пластиковой трубы IMB (см. рис. 4в) досками, что сделали российские полярники, получив сообщение о нештатной работе буя, вернуло измерение в рабочее состояние. Еще один недостаток IMB — не защищенная от встречи с белым медведем конструкция соединительных кабелей. Хотя кабели и вставлены в металлическую оплетку, подобную оплетке гибкого шланга душа, медведь просто из любопытства их легко оторвет от штанг и погнет сами штанги. Возможно именно такие события, безусловно, имеющие не очень высокую вероятность в Центральной Арктике, и приводили иногда к прекращению работы IMB.

Следующее устройство — Autonomous Ocean Flux Buoy (AOFB — автономный буй, измеряющий



Рис. 6. Исследователи у буя АОФВ



Первый АОФВ был установлен в приполюсном районе в 2002 г. После этого ежегодно в Арктике устанавливалось различными научными группами по 1—4 АОФВ. К началу 2012 г. измерения в Арктическом бассейне закончили 18 таких буев, а продолжают работу 2 АОФВ, один из которых был установлен осенью 2010 г., а второй — осенью 2011 г. Можно считать, что механическая конструкция и блок электроники АОФВ достаточно надежны, поскольку за все время применения только у одного буя отказал датчик температуры. Все АОФВ производят измерения минимум несколько месяцев и прекращают работу, судя по всему, из-за деформаций льда.

Опыт автора статьи свидетельствует, что в установке АОФВ должны участвовать минимум два физически крепких человека. Относительно большой

Рис.6. (а) Внешний вид поверхностного блока Autonomous Ocean Flux Buoy (АОФВ – автономный буй, измеряющий потоки тепла между океаном и льдом) на льду. Фото автора, 2007. На дальнем плане ветровой генератор. Цилиндр стального цвета ниже красной вершины устройства и полосы стального цвета с надписями – пружинящая конструкция, надежно закрывающая все надводные кабели и разъемы АОФВ. (б) – схема параметров, которые измеряет АОФВ. Рисунок взят с сайта <http://www.oc.nps.edu/~stanton/fluxbuoy/index.html>. Ocean-to-ice heat flux – поток тепла от океана ко льду. Entrainment heat flux – захваченный поток тепла. Under-Ice Boundary Layer Currents – течения в приледном пограничном слое. Ocean Temperature – вертикальный профиль температуры в верхнем слое океана

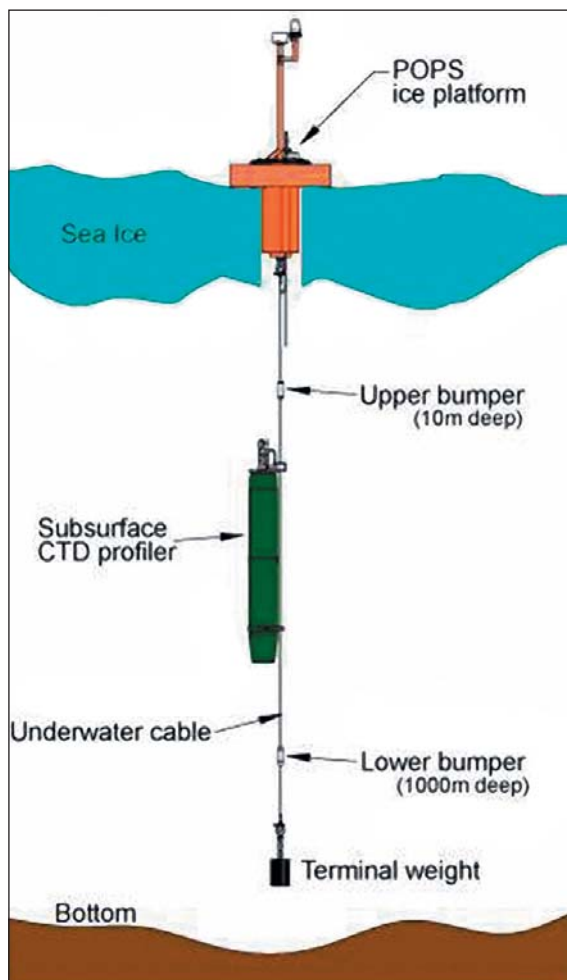


Рис.7. Схема Polar Ocean Profiling System (POPS) – профилирующая система для полярных океанов. Рисунок взят с сайта <http://www.jamstec.go.jp/arctic/>. POPS ice platform – ледовая платформа профилирующей системы для полярных океанов. Sea Ice – морской лед. Upper bumper (10 m deep) – верхний ограничитель движения CTD профилографа, расположенный на 10 м глубины. Subsurface CTD profiler – подповерхностный CTD профилограф. Underwater cable – подводный кабель. Lower bumper (1000 m deep) – нижний ограничитель движения CTD профилографа, расположенный на 1000 м глубины.. Terminal weight – натяжной груз. Bottom – дно

основывался на предыдущем опыте партнеров по созданию автоматических устройств для морских измерений вообще и для полярных районов в частности. Так, один из основных элементов POPS — поверхностная устанавливаемая на льду платформа — является почти точной копией такой же части предыдущей системы J-CAD (JAMSTEC Compact Arctic Drifter — дрейфующая система которая измеряла и передавала по спутниковым каналам связи несколько характеристик атмосферы, а также температуру, соленость и давление на семи горизонтах и скорость течения в верхних 250 м океана). За 2000—2004 гг. в Арктике отрабатывали 10 J-CAD. На платформе установлены датчики температуры воздуха и приповерхностного слоя воды (оба модели YSI 44032), GPS-приемник (модель «Conexant Jupiter Model TU 35-D410-031»), барометр («Vaisala PTB100»), система передачи данных через модем «Iridium» (модель SBD 9522A LBT). Второй основной элемент POPS — CTD-зонд, который в автоматическом режиме движется по подвешенному в воде тросу в пределах горизонтов 5—800 м, — представляет собой один из известных и активно применяемых в открытом океане ARGO-буев PROVOR. PROVOR перемещается вертикально за счет изменения собственной плавучести с помощью встроенной помпы (рис. 7). POPS выпускается канадской компанией «MetOcean» (<http://www.metocan.com/>). Для установки POPS на льду требуется не менее двух подготовленных и физически крепких людей.

Автору настоящей статьи не удалось обнаружить абсолютно точных сведений относительно количества POPS, которые устанавливались в Арктике с 2006 г., но их было не менее 10, поскольку именно столько наборов вертикальных профилей температуры и солености, измеренных POPS с различными порядковыми номерами, содержится в нескольких источниках океанографических данных. Все 10 POPS измерили всего только порядка 800 вертикальных профилей в водной толще, но в несколько раз больше метеорологических данных. Как правило, измерения характеристик атмосферы программируется для POPS с интервалом в 1—2 ч, хотя вертикальные профили температуры и солености планируется измерять через 24—48 ч. Продолжительность CTD-измерений (измерений водной толщи) POPS гораздо меньше заявленной в документации (1,5—2 года) и составляла к началу 2012 г. в среднем порядка 2—3 мес.

вес устройства с лихвой компенсируется целой серией удачных конструктивных решений. Практически невозможно совершить ошибку при установке AOFB. Все соединительные детали пронумерованы и окрашены в разные цвета, все элементы выполнены практически противоударными. Соединительные кабели верхней части AOFB защищены удачной пружинистой конструкцией от лап белых медведей. Инструкция по установке, выполненная в виде фильма, выше всяких похвал. Как опция, часть AOFB снабжается дополнительными источниками питания. Цель этих дополнений — сберечь ресурс батарей для увеличения продолжительности работы. Дополнительные источники питания — это бытовые ветрогенератор или солнечная батарея. Эти элементы буя не имеют конструктивных решений, которые можно признать удачными для условий Арктики, однако их отказ или полное разрушение не влечет за собой прекращения работы самого AOFB.

Polar Ocean Profiling System (POPS) — профилирующая система для полярных океанов — начала создаваться совместными усилиями японского агентства по морским наукам и технологиям JAMSTEC и канадской компании «MetOcean» в 2004 г. [5]. Уже в 2005 г. прошли натурные испытания устройства, а в 2006 г. POPS начала измерения. Столь быстрый прогресс в создании устройства



Рис.8. Момент постановки Polar Ocean Profiling System (POPS) (профилирующая система для полярных океанов) совместными усилиями высокоширотных экспедиций ИОРАН (Писарев С.В. – в темной куртке) и JAMSTEC (Kikuchi T. – в желтой куртке) вблизи российской сезонной дрейфующей базы “Барнео” в приполюсном районе в 2009 году. Показан момент плавного стравливания натянутого троса в пластиковой оболочке с помощью самодельного ленточного “тормоза”, производящего торможение за счет трения с тросом, намотанным на транспортировочную катушку. Фото автора

Среди очевидных недостатков POPS следует выделить прежде всего непродуманность процесса установки подводной части устройства. Операция по сути сводится к необходимости стравливания без каких-либо тормозных устройств 700—1000 м троса в пластиковой оболочке с грузом 50 кг на конце через блок треноги. Группы, которые практически устанавливали POPS в Арктике (а это были французские, японские и германские специалисты, причем последние две группы нередко с участием автора статьи), применяли различные способы для обеспечения плавности стравливания. Во всех случаях пластиковая оболочка троса подвергалась риску деформации. Порча изоляции троса не позволяет передавать информацию из-под воды через индукционный модем. Иногда разрушение изоляции троса было заметно еще над водой. В этом случае на месте производилась герметизация. Иногда, судя по относительно короткой штатной работе подводного блока POPS, разгерметизация происходила позже. Соленая вода проникала через малозаметное нарушение пластиковой оболочки, и подводный блок переставал передавать информацию на поверхностный блок и далее на спутник.

Из пяти POPS, в установке которых автор статьи участвовал лично, две прекратили работу сразу после установки по причине повреждения троса.

Возможно, конечно, что были и другие причины, например, связанные с электроникой. POPS, которые даже не начали измерения, не попадают в статистику установленных в Арктике устройств. Одна POPS из пяти передавала данные с подводного блока от случая к случаю и через два месяца прекратила передачу. Другая производила измерения только в верхних 180 м, поскольку поврежденный кабель пришлось вырубать из-за невозможности произвести герметизацию на морозе -35°C . Только одна POPS работала после установки штатно, да и то пока только менее пяти месяцев.

Еще одним недостатком POPS является выбор веса подводного груза. С одной стороны, 50 кг — уже достаточно солидный вес, чтобы затруднять плавное стравливание троса без тормозных устройств, с другой — при большем дрейфе трос с таким грузом отклоняется, и PROVOR не может двигаться вдоль него из-за недостатка силы плавучести для подъема против встречного потока воды. Прибор застревает на каком-то горизонте, и зондирований не происходит вплоть до ослабления дрейфа. Как и описанный ранее другой продукт компании «MetOcean» IMB, POPS также не имеет какой-либо защиты соединительных кабелей поверхностной платформы от «вандализма» белых медведей.

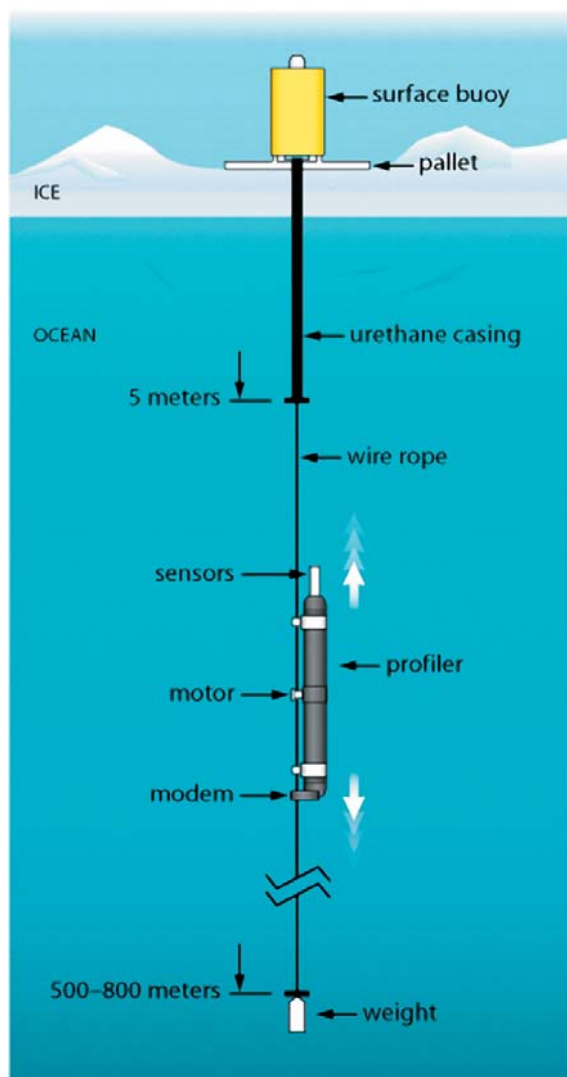


Рис.9. Схема Ice-Tethered Profiler (ITP) – профилограф, привязанный ко льду. Рисунок взят с сайта <http://www.whoi.edu/page.do?pid=20756>. Surface buoy - поверхностный буй. Pallet – платформа под буй (фанерная). Ice - лед. Ocean – океан. Urethane casing – дополнительная полиуретановая защитная оболочка в верхней части несущего кабеля. 5 meters – 5 метров. Wire rope – несущий кабель. Sensors - датчики. Profiler - профилограф. Motor - мотор. Modem - модем. 500-800 meters – 500-800 метров. Weight – груз

(обычно один-четыре раза в сутки) передвигается CTD-зонд. В поверхностном блоке располагаются электроника контроллера и индуктивного модема, навигационная система GPS, система спутниковой связи «Iridium», антенны навигации и связи, батареи. Полиуретановая оболочка очень хорошо защищает поверхностный блок от встреч с когтями белого медведя и от деформаций льда. Кроме того, последние модели этой оболочки обеспечивают сохранение плавучести системы в случае попадания ITP со льда в открытую воду. Подводный трос в пластиковой оболочке имеет диаметр 0,6 см и всегда, в отличие от POPS, хорошего качества. Нарушение пластиковой оболочки при установке буя, что приводит к прекращению передачи данных с CTD-зонда через индукционный модем, для ITP практически невозможно. Большой вес концевой груз обеспечивает малые отклонения троса при сильном дрейфе льдины. Тем не менее верхние 5—7 м несущего троса дополнительно усилены 9-сантиметровой пластиковой оболочкой, чтобы исключить возможность перетирания троса о нижнюю кромку льда. CTD-зонд, сконструированный для ITP, имеет внешнее сходство с любым ARGO профилографом. В качестве CTD-блока измерений используется широко распространенный набор датчиков «Sea-Bird Electronics Inc.» модели 41-CP. На часть ITP устанавливаются в дополнение к CTD еще и датчики растворенного кислорода SBE модели 52-MP. В отличие от ARGO профилографов и POPS ITP-профилограф движется вверх и вниз со скоростью 0,25 м/с не за счет изменения плавучести, а с помощью эффективного электрического двигателя (рис. 8).

Система установки ITP имеет ряд чрезвычайно удачных конструктивных решений. Из-за большого веса концевой груз и кабеля для установки ITP помимо треноги и системы блоков, стопоров, цепных лебедок и перехватов используется специальная лебедка с надежной тормозной системой и возможностью подъема подводной части ITP электрической тягой в случае необходимости (заметим, что подъем кабеля и профилографа POPS в случае обнаружения неисправностей при постановке не предусмотрен). Установку ITP возможно провести силами двух подготовленных человек за 3—5 ч. Однако перемещение всех элементов ITP и устройств для его установки от вертолета, самолета или судна в точку постановки требует большего числа людей.

ITP показывают высокую надежность работы. Так, ITP 16, установленный при участии автора осенью 2007 г., после пяти месяцев успешных измере-

Ice-Tethered Profiler (ITP) — профилограф, привязанный ко льду, — производит те же CTD-измерения, что и POPS. В начале 2000-х годов устройство было разработано в Вудс-Хольском институте океанографии (WHOI) США [6, 7] (<http://www.whoi.edu/page.do?pid=20756>). В настоящее время ITP производится американской компанией «McLane Research Laboratories, Inc» (<http://www.maclanelabs.com>) под техническим руководством группы создателей устройства из WHOI. Первый ITP был установлен в Арктике в 2004 г. в Американо-Арктическом бассейне. В апреле 2007 г. ITP под порядковым номером 7 был первым, который установили в Евразийской части Арктического бассейна. На начало 2012 г. 38 ITP закончили измерения в Арктике, а 18 продолжали работу.

Упрощенно ITP состоит из ряда основных блоков. Поверхностный блок располагается на льду внутри алюминиевого цилиндра, который, в свою очередь, расположен внутри габаритной оболочки из полиуретана специального состава. Под воду опущен трос длиной порядка 800 м в пластиковой оболочке, натянутый концевым грузом 120 кг. Вдоль троса с заранее заданной периодичностью

ний был, судя по неизменности координат, зажат многолетними льдами к северу от Канадского арктического архипелага. Данные STD-профилей не передавались следующую пару месяцев. Положение буя относительно восторощенных льдов затем, судя по всему, изменилось, и двухмесячный массив STD-профилей был передан на береговой компьютер. Большинство ИТР, устанавливаемых около Северного полюса, генеральным дрейфом выносятся через пролив Фрама в Гренландское море, где их многомесячную работу в разреженных льдах или на открытой воде можно проследить вплоть до южной оконечности Гренландии и моря Лабрадор. Часть буев, устанавливаемых в круговороте моря Бофорта, работала штатно более трех лет и затем была извлечена для перезарядки батарей и нового использования работающими в этом районе ледокольными экспедициями.

С 2004 г. и до февраля 2012 г. все ИТР выполнили в центральном Арктическом бассейне около 36 тыс. вертикальных STD-профилей в слое от 5 до не менее 700 м. Если учесть, что бесспорно героические советские дрейфующие станции выполнили в Центральной Арктике с 1937 по 1990 гг. порядка 3500 измерений температуры и солёности (многие из которых производились, впрочем, до дна, а не только в верхних 1000 м) [4], становится очевидно, что современные роботизированные элементы арктических систем наблюдения уже на порядок эффективнее прежних подходов к измерениям в Арктическом бассейне, по крайней мере в области физической океанографии.

Современная тенденция в использовании перечисленных выше устройств состоит в необходимости располагать их группами в пределах одной льдины. Туда же устанавливают автоматическую метеорологическую станцию в полярном исполнении. Комплекс устройств позволяет расширить наблюдения в одной дрейфующей точке, а также контролировать и сверять работу датчиков. Все более традиционным становится прием, когда за состоянием такой дрейфующей лаборатории наблюдает веб-камера, передающая снимки на берег в реальном масштабе времени. Например, по снимкам можно наблюдать, как это случилось в июне 2011 г. для комплекса устройств установленных при участии автора, что лед раскололся между POPS, IMB и камерой. Затем POPS сместился относительно камеры, уже вне снимка, на 100 м (и POPS, и камера передавали свои координаты). Затем, судя по снимкам и в соответствии с изменением направления ветра, трещина сомкнулась, и образовались свежие торосы. Сразу после этого POPS прекратил передавать данные, скорее всего, получив разрушения в результате торосения.

В соответствии с международным законодательством все перечисленные выше устройства производят и производили свои измерения вне исключительной экономической зоны Российской Федерации (ИЭЗ РФ). По разным причинам на начало 2012 г. только для одного ИТР, установленного при участии автора осенью 2011 г. к северу-востоку от

Северной Земли, было получено разрешение России начать работу в ИЭЗ РФ. Тем не менее понятно, что при увеличении количества таких автоматических дрейфующих устройств для исследования водной толщи и ледового покрова Арктики часть их, даже установленная в нейтральных водах или ИЭЗ других государств, будет заноситься случайным дрейфом в ИЭЗ РФ. К этому моменту, который явно, судя по темпам развития международных наблюдательных систем в Центральной Арктике за 2000-е годы, близок, необходимо определиться организационно по отношению к этому неизбежному явлению. Пока же объем и качество данных, получаемых, в том числе и в ИОРАН, от рассмотренных выше новейших измерительных устройств, уже привели к серии важных научных результатов, позволяющих уточнить и даже изменить существующие представления о характере взаимодействия системы лед — океан — атмосфера в Арктическом бассейне.

Литература

1. Фролов И. Е., Гудкович З. М., Карклин В. П., Смоляницкий В. М. Шестидесятилетняя цикличность в изменениях климата полярных регионов // *Материалы гляциологических исследований*. — 2008. — Т. 105. — С. 158—165.
2. AHDR (Arctic Human Development Report). — Akureyri: Stefansson Arctic Inst., 2004. — P. 232.
3. Dickson B. The integrated Arctic Ocean Observing System (iAOOS): an AOSB-CliC Observing Plan for the International Polar Year. — [S. l.], 2006. — P. 16.
4. Environmental Working Group joint U.S.-Russian atlas of the Arctic Ocean — winter period / Ed. by L. Timokhov and F. Tanis. — Ann Arbor, MI: Environmental Research Inst. of Michigan in association with the National Snow and Ice Data Center, 1997. — CD-ROM.
5. Kikuchi T., Inoue J., Langevin D. Argo-type profiling float observations under the Arctic multiyear ice // *Deep-Sea Research*. — 2007. — I, 54. — P. 1675—1686.
6. Krishfield R., Doherty K., Frye D. et al. Design and Operation of Automated Ice-Tethered Profilers for Real time Seawater Observations in the Polar Oceans / Woods Hole Oceanographic Institution. — [S. l.], 2006. — P. 75. — Technical Report 2006-11.
7. Krishfield R., Toole J., Proshutinsky A., Timmermans M.-L. Automated Ice-Tethered Profilers for seawater observations under pack ice in all seasons // *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*. — 2008. — 25. — P. 2091—2095.
8. Perovich D. K., Richter-Menge J. A., Elder B. et al. Observing and understanding climate change: Monitoring the mass balance, motion, and thickness of Arctic sea ice // <http://IMB.crrel.usace.army.mil>.
9. Shaw W. J., Stanton T. P., McPhee M. G., Kikuchi T. Estimates of surface roughness length in heterogeneous under-ice boundary layers // *J. Geophys. Res.* — 2008. — 113. — C08030. — doi:10.1029/2007JC004550.
10. Stanton T. P., Shaw W. J., Hutchings J. Variability of summertime ocean to-ice heat flux in the Transpolar Drift: 2002—2007 // *J. Geophys. Res.* — 2009.