

Вклад России в Международный полярный год 2007/08



океанография и морской лёд



Вклад России в Международный полярный год 2007/08

Коллектив авторов

Океанография и морской лед

«Паулсен»

2011

Коллектив авторов

Океанография и морской лед / Коллектив авторов — «Паулсен», 2011 — (Вклад России в Международный полярный год 2007/08)

В данном томе трудов Международного полярного года (МПГ 2007/2008) отражены результаты исследований, выполненных в рамках научной программы участия Российской Федерации в проведении МПГ по направлению 1 «Гидрометеорологические и гелиогеофизические условия полярных областей» в разделе «Морская среда полярных океанов и морей, морские льды».

© Коллектив авторов, 2011

© Паулсен, 2011

Содержание

И.Е. Фролов[1]	5
1. Современные средства исследования океана и ледяного покрова	9
1.1 Современные средства зондирования и исследования океана	9
С.Б. Кузьмин[2], А.Ю. Ипатов[3]	9
С.А. Кириллов[6], К.В. Фильчук[7]	22
Е.В. Блошкина[10], А.К. Платонов[11], Н.А. Куссе-Тюз[12], В.И. Дымов[13], Т. А. Пасечник[14], В.В. Алексеев[15]	32
Конец ознакомительного фрагмента.	46

Океанография и морской лёд **(Главный редактор тома – И.Е. Фролов)** **(Редакционная коллегия – И.М.** **Ашик, Л.А. Тимохов, А.В. Юлин)**

И.Е. Фролов¹

Введение: о работах по направлению **«Океанография и морской лёд»**

В данном томе трудов Международного полярного года (МПГ 2007/2008) отражены результаты исследований, выполненных в рамках научной программы участия Российской Федерации в проведении МПГ по направлению 1 «Гидрометеорологические и гелиогеофизические условия полярных областей» в разделе «Морская среда полярных океанов и морей, морские льды».

Научная программа и план её реализации были утверждены сопредседателями Организационного комитета по участию России в подготовке и проведении МПГ 2007/2008 руководителем Росгидромета А.И. Бедрицким и специальным представителем Президента Российской Федерации по вопросам МПГ А.Н. Чилингаровым. В состав оргкомитета вошли известные ученые из организаций Российской академии наук, Росгидромета и Министерства природных ресурсов.

Одной из главных целей крупномасштабного международного научного эксперимента МПГ 2007/2008 было проведение научных мероприятий по сбору и анализу фактических данных о состоянии окружающей среды в ключевых районах полярных областей Земли. Эта основная задача программы была успешно выполнена. Благодаря скоординированным между странами-участницами в рамках МПГ комплексным морским исследованиям Северного Ледовитого и Южного океанов, получен большой объем океанографической и ледовой информации. В период МПГ было проведено 72 морских экспедиции, из них 40 экспедиций проведено в Арктике и 32 экспедиции – в Антарктике.

В Северном Ледовитом океане (СЛО) проведено 24 экспедиции на российских научно-исследовательских платформах (суда и дрейфующая станция «Северный полюс» (СП), а в 6 иностранных экспедициях приняли участие российские ученые.

В Южном океане проведено 7 экспедиций на российских судах, а в 2 иностранных экспедициях участвовали российские специалисты.

Важно подчеркнуть, что наблюдения выполнялись по единым международным стандартам, с интеркалибрацией приборов и оборудования, а международные процедуры, принятые участниками МПГ, позволили производить свободный обмен полученными данными.

Успех МПГ 2007/2008 оказался ещё более значимым для арктического региона. Начало Программы совпало с развитием экстремальных гидрометеорологических процессов в Арктике, вследствие этого полученные данные о состоянии океана оказались уникальными, поскольку позволили описать структуру аномального состояния океана и оценить изменчивость океанографических условий в период действия экстремальных процессов.

¹ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт Росгидромета, Санкт-Петербург, Россия

Количество российских данных по Южному океану существенно меньше доступных данных по Северному Ледовитому океану, что отразилось в количестве статей и определило некоторую диспропорцию в пользу северной полярной области.

Несмотря на значительный объем данной книги, в ней приведён в большой степени предварительный анализ полученных данных, окончательный сбор которых, также как и их всесторонний анализ, ещё предстоит сделать.

Книга содержит три основных раздела.

Первый раздел посвящен современным и перспективным средствам и технологиям исследования океана и ледяного покрова. Спутниковое дистанционное зондирование является основой мониторинга окружающей среды в полярных областях. В статье В.Г. Смирнова, И.Е. Фролова и др. обсуждается возможность дистанционного зондирования как источника оперативной объективной информации о состоянии морского ледяного покрова. В статье Е.В. Блошкиной, А.К. Платонова и др. рассмотрены возможности использования спутниковой информации для мониторинга и изучения гидрологического режима полярных областей.

В целом следует отметить, что развитие методов дистанционного зондирования морского льда и свободной ото льда поверхности в нашей стране сдерживается из-за отсутствия собственных природоресурсных космических аппаратов, оснащенных современными радарными радиометрами высокого разрешения и пр. Остаётся надеяться на скорейшую реализацию мероприятия по вводу в эксплуатацию Многоцелевой Космической Системы (МКС) «Арктика».

В статье С.Б. Кузьмина и А.Ю. Ипатова рассмотрено применение приборов и технологий океанологических измерений, используемых в высокоширотных морских экспедициях с борта научно-исследовательских судов или непосредственно со льда в последнее десятилетие.

Несмотря на достаточное обеспечение современными приборами для океано-графических исследований (зонды, профилографы, обрывные зонды) морских экспедиций, следует отметить, что все они произведены за рубежом и, по-видимому, в ближайшее время не стоит ожидать производства их аналогов в России.

В статье С.А. Кириллова и К.В. Фильчука рассмотрены основные методы получения гидрологической информации с заякоренных и дрейфующих буйковых комплексов.

Одним из перспективных направлений развития наблюдательной сети в Северном Ледовитом океане является создание автономных дрейфующих измерительных комплексов (ИТР), позволяющих производить зондирование океана до глубины 800 м и передавать полученную информацию в реальном времени в оперативные центры сбора.

Исторически, начиная с момента организации первой дрейфующей станции «Северный полюс» (СП-1), работы на дрейфующих льдах в Арктическом бассейне играли существенную роль в организации мониторинга СЛО и являлись научными обсерваториями для проведения экспериментальных исследований процессов в океане, морском льду и атмосфере.

С целью повышения эффективности и уменьшения рисков функционирования научно-исследовательских станций «Северный полюс» (СП), базирующихся непосредственно на дрейфующем льду, настало время использования плавучих сооружений в качестве долговременной дрейфующей обсерватории. Особенно остро встал вопрос об организации дрейфующей обсерватории на плавучем сооружении в связи с климатическими изменениями, происходящими в Арктике, сокращением срока действия СП до 9–10 месяцев, увеличением объема работ по обеспечению безопасности дрейфующей станции из-за многочисленных разломов льдины и необходимости передислокации лагеря. Все это привело к увеличению финансовых затрат. Предложение, разработанное в ААНИИ, по использованию в качестве платформы для дрейфующей обсерватории СП плавучее сооружение было одобрено руководством Росгидромета, МПР и положительно рассмотрено на Морской коллегии.

Описанию перспектив использования плавучих инженерных сооружений посвящена статья В.А. Лихоманова и др.

Вопросам развития экспериментальных методов исследований морского льда посвящены две статьи Г.К. Зубакина, Ю.П. Гудошникова и В.Т. Соколова и др. Рассмотренные в этих работах новые экспериментальные методы прошли апробацию в ходе инженерных изысканий для освоения морских углеводородных месторождений на арктическом шельфе и в научно-исследовательских экспедициях на российских судах и дрейфующей станции СП по Программе МПГ 2007/2008.

Второй раздел книги посвящен океанологическим процессам и особенностям распределения основных гидрологических характеристик в период МПГ 2007/2008 в Северном Ледовитом и Южном океанах, а также проведен сравнительный анализ с историческими данными.

Уникальность полученной океанологической информации состоит не только в её объёме, но и в том, что начало МПГ совпало с необычным развитием гидрометеорологических процессов в Арктике (статьи Л.А. Тимохова и др.). Сложившееся к осени 2007 года состояние СЛО не имело аналогов за всю историю инструментальных наблюдений.

Потепление вод атлантического происхождения в Евразийской Арктике оказалось самым значительным за весь исторический ряд наблюдений, а солёность вод Арктического бассейна и прилегающих арктических морей существенно уменьшилась.

В поверхностном слое СЛО была отмечена большая контрастность температуры и солёности между Евразийским и Американским суббассейнами.

В Южном океане (статьи А.В. Клепикова и др.) структура вод не претерпела значительных изменений относительно своего среднего состояния, в частности установлено, что за период 2004–2010 гг. субтропический фронт сместился на юг почти на 2° широты, а антарктический полярный фронт сместился на 1° широты.

Во втором разделе также рассмотрены и отдельные механизмы структурообразующих процессов формирования вод СЛО, таких как интрузия в районах океанических фронтов (С.А. Кириллов) и каскадинг на континентальном шельфе (В.В. Иванов).

Целый ряд статей посвящен гидрологическому состоянию арктических морей. В статье Р.Е. Власенкова, А.П. Макштаса обсуждаются новые данные о распределении взвесей и гидрооптических характеристик. Впервые, в рамках морских экспедиций МПГ были получены и проанализированы параметры, характеризующие концентрацию желтого вещества, важные как при оценке воздействия солнечной радиации на морскую биоту, так и при интерпретации спутниковых изображений.

Ряд статей посвящен исследованию Баренцева моря. Показана изменчивость термохалинного состояния моря за последние полвека (В.В. Денисов и др.), исследованы особенности водообмена с Арктическим бассейном и взаимодействие атлантических вод с арктическими (А.Г. Трофимов и др.), а также рассмотрено влияние придонных вод Баренцева моря на гидрхимический режим Арктического бассейна (А.П. Недашковский и др.).

Изменчивость гидрохимического режима моря Лаптевых рассмотрена в статье А.Е. Новихина и др.

В статьях И.М. Ашика и В.И. Дымова и др. рассмотрены особенности колебания уровня и ветрового волнения в арктических морях в период МПГ.

И, наконец, в третьем разделе книги рассмотрены особенности развития ледовых условий Северного Ледовитого и Южного океанов в период МПГ и их сравнение с историческими данными.

В статьях показано, что ледовитость СЛО летом 2007 года достигла своего минимума (В.М. Смоляницкий, А.В. Юлин), а дрейф льда стал более интенсивным (Ю.А. Горбунов и др.). Существенно уменьшились количество и толщина многолетних льдов в СЛО, что отмечено в статьях Л.П. Бобылева, О.М. Йоханнесена и др., С.В. Фролова и др.

На основе анализа полученных в период МПГ данных приведены отдельные параметры морского льда и характеристики ледового режима: распространение айсбергов (Ю.П. Гудош-

ников, Г.К. Зубакин и др.), интенсивность процессов нарастания льда и накопления снежного покрова в Центральной Арктике (В.Т. Соколов, А.А. Висневский и др.), морфометрические характеристики и внутреннее строение торосистых образований (В.В. Харитонов), химический состав арктического морского льда (А.П. Недашковский), а также физико-механические процессы в морских дрейфующих льдах (В.Н. Смирнов).

Завершается книга (раздел 3) статьей И.Е. Фролова, А.И. Короткова, В.М. Смоляницкого, в которой авторами проанализирована за весь период наблюдений изменчивость распространения морского льда в Южном океане и приведено сравнение с изменениями площадей льда в СЛО. Сделан вывод, что в последние десятилетия среднегодовые площади морского льда в Южной и Северной полярных областях имеют противоположные тренды, а площадь антарктического морского льда в период МПГ достигла своего исторического максимума.

К основным достижениям МПГ 2007/2008 в области океанографии и морских льдов можно отнести следующее:

1. Получен опыт проведения и координации широкомасштабных исследований океана и морских льдов с применением современных контактных и бесконтактных средств измерений, что позволит уже в ближайшие годы создать международные системы оперативного и климатического мониторинга полярных районов.

2. Получена достаточно полная картина состояния вод и морских льдов полярных областей, которая при сравнении с историческими данными приведет нас к более полному пониманию причин и следствий происходящих в гидросфере изменений.

3. Приведенные экспериментальные гидрологические и ледовые исследования направлены на совершенствование процедур дешифрования данных ИСЗ и развитие численных моделей океана и морских льдов.

Полученные в период МПГ 2007/2008 результаты океанографических исследований вполне однозначно свидетельствуют о необходимости продолжения мониторинга природной среды и морских экспедиций в полярных районах Земли и следует приветствовать идею проведения Международного Полярного десятилетия как логического продолжения Международного Полярного года, высказанную на 60-й сессии Исполнительного Совета Всемирной Метеорологической Организации.

1. Современные средства исследования океана и ледяного покрова

1.1 Современные средства зондирования и исследования океана

С.Б. Кузьмин², А.Ю. Ипатов³

Современные приборы и технологии наблюдения за гидрологическими условиями в Северном Ледовитом океане

Аннотация

Описаны современные приборы, применяющиеся при океанологических исследованиях в Северном Ледовитом океане. Подробно даны технические характеристики профилографов, измерителей и зондов. Приведены количественные оценки, показывающие рост современной приборной базы, используемой при исследованиях в полярных регионах, а также увеличение объемов полученных измерений океанологических параметров за последнее десятилетие. Современные технологии проведения наблюдений за океанологическими параметрами описаны на примерах экспедиций, организованных Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом (АНИИ), выполненных в Северном Ледовитом океане в последнее десятилетие, в том числе в период Международного полярного года (МПГ 2007/08).

Введение

Наблюдения за гидрологическими условиями подразумевают возможность измерения в различных режимах значений температуры, солености (электропроводности) морской воды, а также скорости и направления течений, колебаний уровня моря, параметров волнения. Кроме того, в качестве сопутствующих параметров можно рассматривать скорость звука в морской воде (при прямых измерениях), мутность. В ходе экспедиционных работ на подвижных платформах (судовые экспедиции, работа на дрейфующем льду) в Северном Ледовитом океане (СЛО) возможны наблюдения за всеми указанными гидрологическими параметрами, кроме колебаний уровня моря и волнения. Очевидно, что рациональная организация исследований в любой области науки, в том числе и океанологии, сопряжена с достоверностью данных, получаемых в ходе экспериментов (полевых, экспедиционных работ). Использование современной приборной базы, аналогичной используемой зарубежными коллегами, позволяет при правильной эксплуатации приборов получать результаты, не вызывающие в научном сообществе сомнений в их корректности.

Принципы измерения гидрологических параметров, используемые в описанных ниже приборах одинаковы. Измерение температуры производится термистором. Электропроводность определяется при прохождении морской воды через ячейку индуктивности (при воз-

² Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

³ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

буждении индуктивных токов в ячейке). При этом вода: либо протекает сквозь ячейку под действием насоса, обеспечивающего равномерный поток жидкости, либо протекает свободно. Давление измеряется кварцевым датчиком на основе пьезоэффекта, либо тензодатчиком. Мутность морской воды определяется путем оценки величин рассеяния излученного света. Скорость течения в акустических доплеровских измерителях и профилографах определяется по частотному сдвигу акустического сигнала. Направление течений определяется магнитным компасом. Время измеряется автономно запитываемыми кварцевыми часами. Имеются отличия в характеристиках датчиков, классификация которых по классу точности приведена в таблице 1.

Передача данных производится, как правило, через интерфейс типа RS232 (RS232C) со скоростью 9600 бод. При подготовке приборов обязательными элементами перед использованием являются их тестирование на работоспособность, проверка запаса питания и объема свободной памяти.

Современные приборы и технологии, используемые в высокоширотных экспедициях для получения данных о вертикальном профиле термохалинных характеристик

Первыми образцами современного оборудования, задействованными для получения данных о вертикальном распределении (профилей) термохалинных характеристик, в ходе высокоширотных экспедиций стали зонд SBE 9plus CTD и профилограф SBE 19plus SeaCat производства компании SeaBird Electronics (США). Приборы данных моделей успешно эксплуатируются и сейчас, причем SBE 19plus является наиболее часто используемым прибором в арктических экспедициях в силу простоты и надежности в эксплуатации, автономности и малого веса. Несколько позже в судовых высокоширотных экспедициях начали применять обрывные зонды также позволяющие получить профили термохалинных характеристик.

SBE 9plus CTD и SBE 19plus SeaCat по характеристикам установленных на них датчиков (табл. 2) относятся к высшему классу точности измерения согласно принятой классификации измерительных приборов в океанологии (табл. 1). Обрывные зонды (характеристики датчиков даны в табл. 3) относятся к ненормируемым по классу точности (табл. 1).

Таблица 1. Классификация океанологических приборов по точности установленных на них датчиков (взята из работы Левашова Д.И., 2003)

Уровень требований (класс)	Погрешность измерений			Глубина (макс) м
	температура	электропроводность	Давление	
	°С	мСм/см	Мпа-102	
WOCE	0,002	0,001-0,003	3	6000
Высший (1)	0,002-0,005	0,002-0,005	0,42-1,5	3000
Средний (2)	0,005-0,01	0,005-0,01	1-2	2000
Минимальный (3)	0,01-0,05	0,01-0,04	1-3	1000
Ненормированный (4)	0,1-0,2	0,5-1,0 %	3	30-200

Работа с описываемыми здесь приборами с борта судна возможна в дрейфе, в случае обрывных зондов, и на ходу. При сплоченности льда более трех баллов, при сильном ветре (более 10 мс) и (или) значительном дрейфе, любые океанографические станции выполняются с подработкой подруливающими устройствами, либо с использованием главного двигателя судна.

Зонд SBE 9plus CTD предназначен для измерения в режиме непрерывной передачи данных (основной режим работы) по кабель-тросу электропроводности (солености), температуры морской воды, давления (рис. 1Г). Кроме того, имеется возможность дополнительной установки датчиков растворенного кислорода, рН, флуоресценции фитопланктона, рассеяния солнечной радиации, мутности. Зонд устанавливается в батометрическую секцию-блок крепления

зонда и батометров (розетты) SBE 32 Carousel (рис. 1А), либо отдельно, в титановой раме. Конструкция розетты позволяет закреплять на ней дополнительно автономные измерительные приборы, что значительно увеличивает объем получаемой информации. Розетка SBE 32 Carousel рассчитана на 24 пластиковых батометра емкостью 5 л типа 1080, произведенных фирмой General Oceanics Inc. (США). С помощью батометров производится отбор проб воды для последующего анализа в лабораторных условиях на судне.

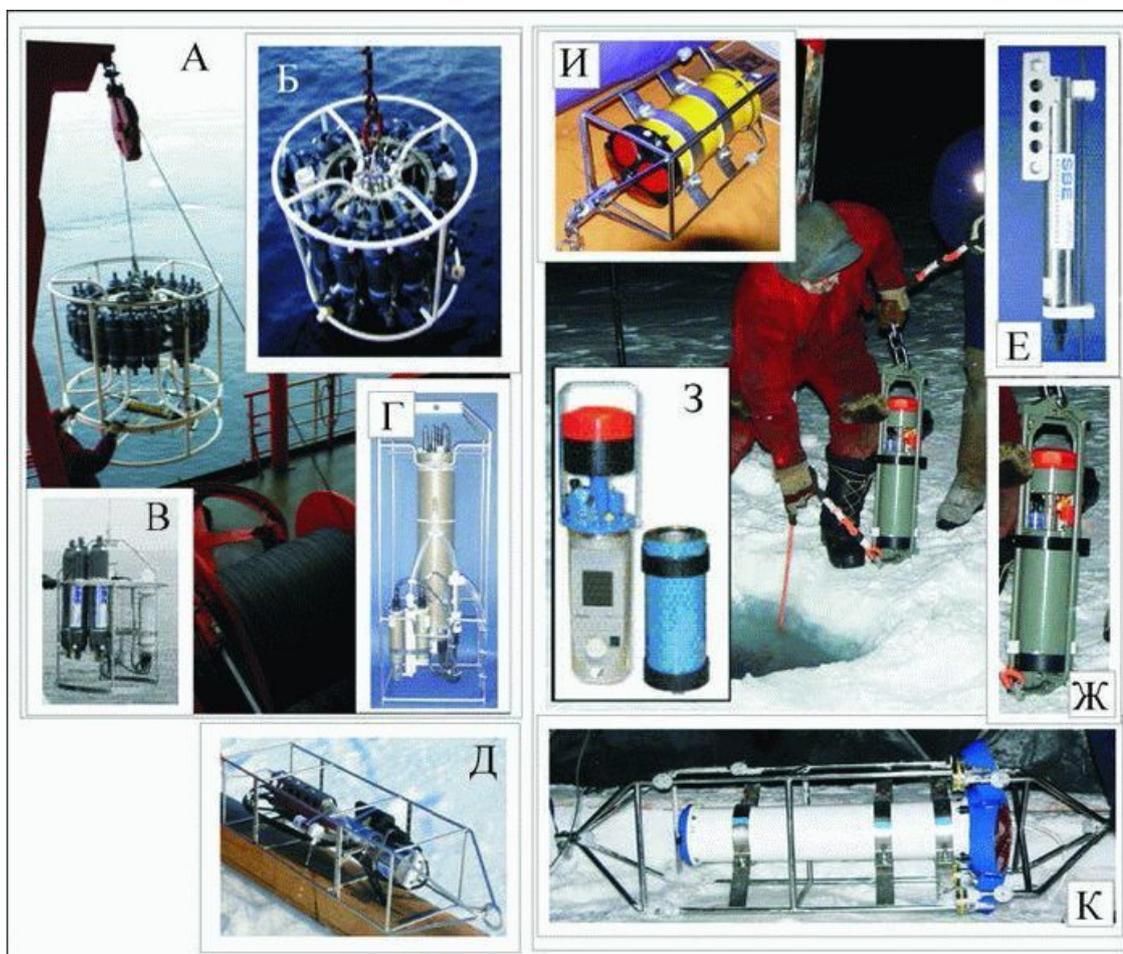


Рис. 1. Приборы и оборудование, используемые в высокоширотных экспедициях. А – комплекс SBE 32 Carousel с зондом SBE 911plus; Б – комплекс SBE 32 Carousel с профилографом SBE 19plus и модулем AFM; В – комплекс SBE55 ECO Water Sampler с профилографом SBE 19plus; Г – зонд SBE 9plus CTD; Д – профилограф SBE 19plus; Е – измеритель температуры и электропроводности SBE 37SM; Ж – измеритель течений RCM 9IW; З – измеритель течений Seaguard IW; И – акустический доплеровский профилограф течений WHS300; К – акустический доплеровский профилограф течений дальней зоны действия WHLS75

В режиме непрерывной передачи данных зонд работает с бортовым устройством SBE 11plus. В этом случае он обозначается как SBE 911plus. При необходимости может работать в автономном режиме без кабель-троса, при подключении дата-логгера SBE 17plus. Все указанные приборы и оборудование также произведены фирмой SeaBird Electronics. Комплекс SBE 911plus эксплуатируется в АНИИ на борту НЭС «Академик Федоров», в частности использовался в экспедициях «Арктика-2007», «Шельф-2010». На основе полученных комплексом данных строятся, в частности, пространственные распределения гидрологических параметров. На рис. 2Б в качестве примера такого построения приведен разрез от пролива Карские Ворота

до пролива Вилькицкого в диапазоне глубины 0–100 м, выполненный по данным измерений в экспедиции «Шельф-2010».

Спуск и подъем через кран-балку розетты с зондом и батометрами выполняется лебедкой со скоростью не более 1 м/с, при этом используется кабель-трос диаметром 9 мм. На барабане лебедки имеется 6000 м троса. Управление работой комплекса выполняется программой «SeaSave» из пакета программ «SEASOFT». Данные, передаваемые при спуске на бортовое устройство и соединенный с ним персональный компьютер (ПК), используются для определения горизонтов отбора проб воды батометрами. В нижней точке зондирования (10–20 м от дна) комплекс выдерживается для выравнивания по вертикальному углу. Измерение термохалинных характеристик и прочих параметров производится при подъеме (со скоростью 0,8 м/с). На выбранных горизонтах программно по кабель-тросу подается команда устройству, закрывающему батометры, отбирающие пробы воды.

Профилограф SBE 19plus SeaCat предназначен для измерений в автономном режиме (в режиме зондирования или буйковой станции, основной рабочий режим) электропроводности (солености), температуры морской воды, давления. Как и SBE 9plus может иметь такие же дополнительно устанавливаемые датчики параметров. Прибор устанавливается в штатной титановой раме (рис. 1Д), либо крепится на розетку SBE 32 Carousel вместе с устройством для автоматического закрытия батометров на заданных горизонтах (Auto Fire Module (AFM)). При работе с розеткой глубина срабатывания батометров программируется для AFM по давлению с помощью интерфейса RS232.

Комплекс SBE19plus SEACAT с розеткой SBE 32 Carousel (рис. 1Б) может использоваться в рейсах при отсутствии на борту судна лебедки с кабель-тросом. Примером таких экспедиций на борту НИС «Иван Петров» могут служить «БАРКАЛАВ-2007», «БАРКАЛАВ-2008», где данный комплекс включал в себя профилограф и розетку на 12 батометров типа 1080 емкостью 5 л. Температура и соленость в поверхностном слое, полученные описываемым комплексом в ходе экспедиции «БАРКАЛАВ-2007» представлены на рис. 2А.

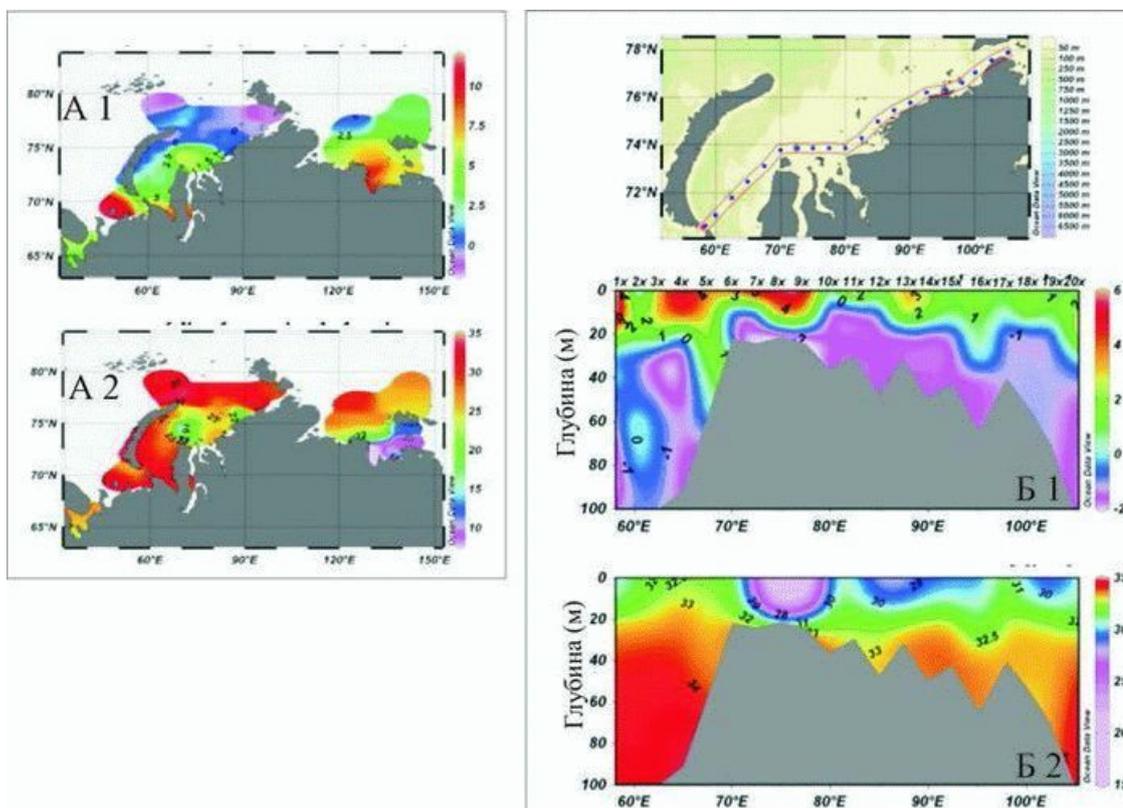


Рис. 2. Пространственные распределения гидрологических параметров (1 – температура, 2 – соленость), полученных в ходе высокоширотных судовых экспедиций с помощью измерительных комплексов SBE 19plus (А) и SBE 911plus (Б).

Перед спуском с помощью программы «SeaSaveAF» из пакета программ «SEASOFT» устройство AFM через интерфейс RS232 программируется на давление, при котором будут закрываться батометры, либо на промежутки времени, при которых данная операция будет выполняться при нахождении комплекса на постоянной глубине. Кроме того, AFM записывает в свою память последовательность закрытия батометров, их номера, время и подтверждение закрытия для каждого батометра. AFM работает от 9 щелочных батареек типа Duracell MN1300 (LR20), которые обеспечивают приблизительно 40 часов работы, либо от никель-кадмиевых источников питания. Спуск и подъем комплекса производится судовой лебедкой на тросе 8 мм. После подъема комплекса данные считываются из памяти SBE 19plus на ПК. Методика выполнения гидрологической станции описана выше для зонда SBE 911plus. Основным недостатком данного комплекса является невозможность отслеживать флуктуации измеряемых характеристик водной среды на профиле в режиме непрерывной регистрации.

При океанографических работах, выполняемых на борту судна возможно также использование SBE 19plus в режиме непрерывной передачи данных (по кабель-тросу). Существует три варианта эксплуатации SBE 19plus в таком режиме. Первый – без розетки как комплекс, состоящий из профилографа и закрепленного на его раме модуля Power Data Interface Module (PDIM), соединенных с бортовым устройством (БУ) SBE 36 CTD Deck Unit. Модуль питается от SBE 19plus и обеспечивает передачу данных на БУ. Либо – два варианта комплексов с розеткой. В первом случае прибор монтируется на розетке SBE 32 Carousel и составляет комплекс с бортовым устройством SBE33 Carousel Deck Unit. Во втором варианте прибор монтируется на розетке SBE55 ECO Water Sampler вместе с модулем SBE55 Electronic Control Module, блоком магнитных размыкателей SBE55 Lanyard release assembly и тем же бортовым устройством SBE33 (рис. 1В).

Профилограф SBE 19plus широко используется при работах, выполняемых на льду. К таким экспедициям относятся, в первую очередь, научно-исследовательские дрейфующие станции «Северный полюс» (СП); работы в лагере «Барнео»; экспедиции «Полярная-2008», «Полярная-2009»; вертолетные станции, выполнявшиеся попутно, в частности в ходе экспедиции «Арктика-2007». Здесь отбор проб воды батометрами в розетке не осуществляется, прибор установлен в штатной титановой раме, работает автономно. Как правило, гидрологические станции делаются в закрытом помещении. Над майной, заранее выбуренной с применением мотобуров (на станциях СП для таких целей используется мотобур «Jiffy»(США)), либо над трещиной или краем разводья устанавливается палатка без пола, например КАПШ-3. На дрейфующих станциях СП работы выполняются в панельном мобильном домике типа ПДКО, где один половой щит над майной снят и она окружена фанерным коробом для предотвращения заносов снегом и замерзания. Майна обогревается и освещается галогенной лампой (мощность 500 Вт), установленной на боковой стенке короба. При необходимости майна обогревается гибким теплоэлектрическим нагревателем (ТЭН) на плавучей раме, а также ТЭНами, закрепляемыми на стенках короба под поверхностью воды для предотвращения бокового нарастания льда.

Перед началом работ программой «SEATERM», поставляемой SeaBird Electronics, производятся следующие установки рабочего режима. Устанавливаются порядок производства измерений (в режиме зондирования): измерять при спуске, либо подъеме, либо в обоих направлениях; частоты измерений (дискретности измерений); порядок вывода измеряемых параметров, связываемых с калибровочными коэффициентами; широта места наблюдения (для перерасчета давления в глубину); текущее время. Непосредственно перед работой прибор

тестируется программой «SEATERM». Профилограф опускается на лебедке (обычно модель СП-77), установленной на сани с электроприводом на тросе 1,5–2 мм через выстрел с блоком. Напряжение на электропривод подается либо от стационарного (на дрейфующих станциях СП), либо от автономного дизель – генератора (бензогенератора). Спуск прибора выполняется в контролируемом по скорости (1 м/с) свободном падении, либо при включенном электродвигателе с той же скоростью. Подъем прибора выполняется с помощью электропривода также со скоростью 1 м/с. Непосредственно перед спуском прибор выдерживается подо льдом 5–15 минут для выравнивания температуры корпуса прибора с термистором и морской воды. После подъема на воздух насос прибора промывается дистиллированной водой. Периодически насос промывается с применением штатного детергента. После каждой выполненной станции, либо после окончания полетов, полученные данные скачиваются из памяти зонда на ПК. Запас рабочего времени SBE 19plus в автономном режиме по питанию около 1 950 000 единиц измерения (электропроводность, температура, давление).

Обрывные зонды широко используются в судовых высокоширотных экспедициях, поскольку наблюдения с помощью данных зондов можно производить в отсутствии специально оборудованного рабочего места и с минимальными потерями судового времени (без остановки судна). Работы выполняются с борта судов с помощью обрывных зондов типа ХВТ (expendable bathythermograph) и ХСТД (expendable conductivity, temperature, depth probe) производства фирмы Lockheed Martin Corp. (США – Мексика), Tsurumi – Seiki Co., Ltd. (Япония), выполненных по лицензии фирмы Sippican Inc. (Япония), ныне входящей в той её части, которая производит океанологическое оборудование, в состав фирмы Lockheed Martin Corp. В ходе экспедиций последних лет использовались следующие модели батитермографов (ХВТ): Т4, Т5, Т7, обрывных зондов электропроводности, температуры и давления (ХСТД): ХСТД-1, ХСТД-2. Используемые в приборах датчики (табл. 3) по своему принципу работы аналогичны описанным ранее, отличаются малой инерцией. Для производства работ обрывными зондами кроме собственно зондов, используется пусковое устройство LM-3А производства Lockheed Martin Corp., бортовое устройство МК-21 той же фирмы или МК-130 производства фирмы Tsurumi-Seiki Co. и персональный компьютер с установленным на нем программным обеспечением «Win МК21» или «English_Ver. 3.02» данных фирм соответственно. Измеряемые параметры передаются от датчиков свободно падающего зонда через тонкую (0,15 мм) проволоку на бортовое устройство. Здесь аналоговые в случае ХВТ или цифровые сигналы в случае ХСТД декодируются и передаются дальше в компьютер, работающий в режиме непрерывного получения данных. Перед началом работ программно производится настройка по типу прибора, пределам шкал измерения, устанавливается имя и место выводного файла с данными (в виде ASCII-кода). Затем после включения зонда производится контроль наличия связи в сети зонд-бортовое устройство. В случае ХСТД далее производится тестирование датчиков зонда на воздухе. Глубина измерения температуры для зондов типа ХВТ определяется по времени наблюдения при полагающейся постоянной известной скорости погружения зонда. Поскольку работы с обрывными зондами, как правило, выполняются на ходу судна, процесс их выполнения полностью согласуется с мостиком в режиме двухсторонней связи.

Таблица 2. Характеристики зонда SBE 9plus CTD, профилографа SBE 19plus SeaCat и измерителя SBE 37SM MicroCat, используемых для получения термohалинных характеристик.

Параметр	Единица измерения	Прибор		
		SBE 19plus	SBE 37SM	SBE 9plus
Диапазон измерения				
Температура	°C	-5...+35	-5...+30	-5...+35
Электропроводность	См/м	0-9	0-7	0-7
Давление (глубина)	м	0-7000	0-7000	0-10500
Точность				
Температура	°C	±0,005	±0,002	±0,001
Электропроводность	См/м	0,0005	0,0003	0,0003
Давление	%	0,1	0,1	0,015
Разрешение				
Температура	°C	0,001	0,0001	0,0002
Электропроводность	См/м	0,00005 ¹	0,00001	0,00004
Давление	%	0,002	0,002	0,001
Стабильность				
Температура	°С/мес.	0,0002	0,0002	0,0002
Электропроводность	(См/м)/мес.	0,0003	0,0003	0,0003
Давление	%/год	0,004	0,05	0,018
Частота измерения, количество каналов				
Частота	Гц	1-4	0,17-0,046	24
Количество каналов	шт.	3	1	5
Питание ²				
Тип	-	Ник.Мет.гидр.	Литиевые	Ник.Мет.гидр.
Типоразмер	-	D ³	-	D ³
Количество	шт.	9	6	12
Емкость	А/ч	14	7,2	8
Напряжение	В	13,5	9	12
Память: основная (дополнительно) ²				
Объем	Мб	8 (64)	2,048 (8)	16
то же	Ед.измер.	1950000	185000	-
Вес на воздухе/в воде (глубина погружения)				
Пластик	кг	7,32,3 (600)	2,71,2 (250)	-
Алюминий	кг	-	-	25/16 (6800)
Титан	кг	13,78,6 (6800)	3,82,3 (6800)	29/20 (10500)
Размер (размер в раме)				
Диаметр	мм	99 (1219)	67	(950)
Высота	мм	808 (241)	564	(330)
Ширина	мм	-(249)	-	(305)

Примечания: ¹ – разрешение от диапазона 0,0001 См/м для пресной воды до 0,0007 См/м при высокой солености; ² – для зонда SBE 9plus CTD при работе в автономном режиме приведены характеристики дата-логгера SBE 17plus; ³ – никель-металлогидридные батареи (аккумуляторные), возможна установка щелочных типоразмера «D»

Таблица 3. Характеристики обрывных зондов.

Параметр	Единица измерения	Прибор				
		ХВТ			ХСТД	
		T-4	T-5	T-7	XCTD-1	XCTD-2
Диапазон измерения						
Температура	°C	-2...+35	-2...+35	-2...+35	-2...+35	-2...+35
Электропроводность	См/м	-	-	-	0-7 (0-6) ¹	0-7,9 (0-6) ¹
Глубина	м	-	-	-	0-1000	0-1850
Точность						
Температура	°C	±0,1	±0,1	±0,1	±0,02	±0,02
Электропроводность	См/м	-	-	-	±0,03	±0,03
Глубина	%	±2	±2	±2	±2	±2
Вертикальное разрешение	м	0,65	0,65	0,65	-	0,17
Прочие характеристики						
Время погружения	сек	73	292	123	-	600
Максимальная глубина	м	400 (460) ¹	1830	760	1000	1850
Макс. скорость судна	узлы	30	6	15	12	3,5

Примечание: ¹ – для приборов производства фирмы Tsurumi – Seiki Co.

Современные приборы и технологии, используемые в высокоширотных экспедициях для изучения временного хода термохалинных характеристик на отдельных горизонтах

Ряды данных, описывающих временной ход термохалинных характеристик, были получены в ходе измерений, выполняемых чаще всего с помощью измерителя температуры и электропроводности SBE 37 в модификации SBE 37SM MicroCat. Также в отдельных случаях в ходе работ на дрейфующей станции СП-37 для данных целей использовался описанный ранее профилограф SBE 19plus SeaCat, установленный в режиме буйковой станции. Набор такелажа и установка прибора на льду производится аналогично описанному ниже для SBE 37SM MicroCat. Все данные наблюдения выполнялись с дрейфующего льда в рамках экспедиций на станциях «Северный полюс».

Измеритель температуры и электропроводности SBE 37SM MicroCat изготовлен компанией SeaBird Electronics (США) (рис. 1Е). Предназначен для измерения в автономном режиме электропроводности (солености), температуры морской воды, дополнительно оснащен датчиком давления (табл. 2). В отличие от рассмотренной ранее продукции данной фирмы, измерения электропроводности происходят в режиме свободного протекания воды, без насоса, что обеспечивает меньший расход питания и большую автономность. Запас времени по питанию (литиевые батарейки) 300 000 единиц измерения (электропроводность и температура). Подготовка прибора к работе и считывание данных после окончания работы выполняется прилагавшей к нему программой «SEATERM». Выставляется дискретность наблюдений, текущее время и формат его представления, время пуска прибора. Прибор устанавливается на открытом воздухе в заранее выбуренной майне. В силу конструктивных особенностей прибор крепится на отрезке стального троса сечением 4 мм, который в свою очередь крепится к синтетическому тросу сечением 13 мм. Над прибором в такелаж набирается «мокрый» вертлюг для предотвращения кручения троса. Снизу прибор утяжеляется ввиду своего малого веса (табл. 2) грузом весом 15 кг. На верхнем трехметровом участке синтетический трос пропускается через пластиковую трубу сечением 35 мм для предотвращения разрыва троса при выбуривании прибора. Над майной данная конструкция фиксируется доской, на которую заведена петля на верхней оконечности троса. Место положения майны обозначается флажками.

Современные приборы и технологии, используемые в высокоширотных экспедициях для изучения временного хода течений

Значительным прорывом в океанологических исследованиях в СЛО стало использование при работе со льда измерителей и профилографов скорости течений. Впервые измерения течений с применением современных приборов и корректной привязкой к координатам (использование системы GPS) на дрейфующем льду были выполнены в рамках работы сезонного отряда СП-34. Для наблюдения за течениями при этом использовались акустические доплеровские измерители течения RCM 9IW (рис. 1Ж) производства фирмы AANDERAA (Норвегия) и акустические доплеровский профилограф течения ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) WorkHorse Sentinel 300 кГц (WHS300) производства фирмы RDI Teledyne (США) (рис. 1И). В дальнейшем к данным приборам добавились акустический доплеровский измеритель течений SEAGUARD RCM IW производства AANDERAA и акустический доплеровский профилограф течений дальней зоны действия ADCPLR (Acoustic Doppler Current Profiler Long Range) WorkHorse Long Ranger 75 кГц (WHL75) от фирмы RDI Teledyne. Общим для всех данных приборов является принцип измерения скорости и направления течения. Основным разли-

чем между акустическими измерителями и профилографами течений является то, что в первом случае измерения производятся излученным акустическим сигналом на одном горизонте в кольцевой области горизонтальной плоскости, удаленной на радиус 0,5 м от прибора до внешней границы, удаленной на радиус 3,5 м от прибора. В случае профилографов измерения скорости течений выполняются на нескольких горизонтах по вертикали (в нескольких ячейках), причем измеряемая скорость отнесена не к отдельному горизонту, а к слою некоторой толщины (ячейке). Приборы имеют «мертвую зону» непосредственно за излучателями размером 6,12 и 12,57 м для профилографов WHS300 и WHLS75 соответственно. Характеристики RCM 9IW и SEAGUARD RCM IW сходны. Характеристики WHS300 и WHLS75 отличаются частотой акустического сигнала (табл. 4). С этим связаны и отличия в общей толщине исследуемого слоя и толщине каждой ячейки, в которой измеряется скорость течения (табл. 5).

Таблица 4. Характеристики измерителей течений RCM 9IW и SEAGUARD RCM IW, профилографов течений WorkHorse Sentinel (WHS300), WorkHorse Long Ranger (WHLS75).

Параметр	Единица измерения	Прибор			
		RCM 9IW	SEAGUARD IW	WHS300	WHLS75
Диапазон измерения					
Температура	°С	-3,12...+36,6 ¹	-4...+36	-5...+45	-5...+45
Электропроводность	См/м	0-7,5	0-7,5	-	-
Давление	кПа	0-20000	0-20000	0-60000	0-22500
Скорость	см/с	0-300	0-300	0-500	0-500
Направление	°	0-360	0-360	0-360	0-360
Наклон (диапазон)	°	0-35	0-35	-15...15	-50...50
Наклон (абс. макс.)	°	35	35	20	15
Точность					
Температура	°С	±0,05	±0,03	±0,4	±0,4
Электропроводность	См/м	±0,0018	±0,0018	-	-
Давление	кПа	±0,04	±0,04	±0,25	±0,25
Скорость	см/с	±0,15	±0,15	±0,5	±0,5
Направление	°	±5 (±7,5) ²	±5 (±7,5) ²	±2	±2
Наклон	°	±1	±1,5	±0,5	±1
Разрешение					
Температура	%	0,01	0,01	0,01	0,01
Электропроводность	См/м	0,0002	0,0002	-	-
Давление	кПа	0,02	0,001	-	-
Скорость	см/с	0,3	0,01	0,1	0,1
Направление	°	0,35	0,35	0,01	0,01
Наклон	°	-	-	0,01	0,01
Полоса					
Излучения	°	±1	±2	±2,2	±4
Сканирования	м	3,5	-	165	644
Частота измерения, мощность сигнала, количество каналов					
Частота сигнала	кГц	2000	1900-2000	300	75
Частота измерения	Гц	0,02-0,00014	0,08-0,00028	-	-
Мощность	Вт	25	25	80	80
Количество каналов	шт.	6	6	-	-
Питание					
Тип	-	Щел. (лит.)	Щел. (лит.)	Щелочные D	Щелочные D
Типоразмер	-	3614 (3677)	3988 (3908)	-	-
Количество	шт.	1	2	32 (1) ³	128 (4) ³
Емкость	Ач	12,5 (30) ⁴	15 (35) ⁴	400	450
Напряжение	В	9 (7,2) ⁴	9 (7,2) ⁴	48	48
Память: основная (дополнительно)					
Объем	Мб	0,262	2 (4)	143 (576)	1064 (4000)
Вес на воздухе/в воде (глубина погружения)					
Пластик	кг	-	12,27,3 (300)	134,5 (200)	-
Алюминий	кг	32,720,5 (2000)	-	-	5836 (1500)
Титан	кг	-	14,88,5 (2000)	24,610,5 (6000)	85,754,5 (3000)
Размер					
Диаметр	мм	128	140	229	178-550
Высота	мм	595	352	396	1014

Примечания: ¹ – разрешение в задаваемых диапазонах: «arctic» -3,12...+5,83, «low» -2,7...+21,7, «wide» -0,6...+32,8, «high» +9,8...+36,6; ² – первое значение для угла наклона до 15°, второе – для угла наклона до 35°; ³ – количество сборок батарей; ⁴ – для литиевых батарей

Таблица 5. Размер ячейки (слоя) измерения, общая толщина слоя и соответствующие им значения среднеквадратичного отклонения (СКО) скорости профилографов течений WHS300 и WHLS75

WHS300			WHLS75				
Нормальный режим			Нормальный режим			Выс. разрешение	
Ячейка	Толщина Слоя	СКО	Ячейка	Толщина слоя	СКО	Толщина слоя	СКО
м	м	см/с	м	м	см/с	м	см/с
1	92–71	12,8	4	525	29,0	432	15,0
2	102–78	6,1	8	560	14,6	465	7,6
4	113–86	3,0	16	600	7,6	503	3,9
8	126–95	2,0	32	644	3,9	545	2,0

Набор описываемых приборов в такелаж и их установка на льду производится аналогично описанному ранее для SBE 37SM MicroCat.

Измеритель течения RCM 9IW кроме датчика скорости течения (тип 3680 или 4220) имеет датчик давления, основанный на пьезоэффекте (тип 4017D или 4017A...4017F), датчик электропроводности (тип 3919B или 3919A, 4119, 4120), датчик температуры (тип 3621). Характеристики штатных датчиков, указанных первыми приведены в табл. 4. Дополнительно может быть установлен датчик мутности (3612A), а также датчики флюоресценции фитопланктона или датчик растворенного кислорода.

Перед установкой измерителя выполняется его настройка. Производится очистка устройства накопления данных Data Storage Unit DSU 2990 (либо DSU 2990E). На центральной плате устанавливаются следующие параметры: интервал измерения температуры и электропроводности; количество каналов; режим работы излучателя акустических сигналов. По умолчанию производится 600 излучений акустического сигнала (пингов). Режимы, при которых производится 150, 300 или 1200 пингов реализуются перестановкой соединительных клемм на плате прибора. Затем производится включение прибора в режиме измерений за заданный интервал 1, 2, 5, 10, 20, 30, 60, 120 минут (Normal mode по умолчанию) «On», либо в режиме измерений в течение последней минуты заданного интервала «Burst mode», при этом питание экономится. Опрос датчиков происходит следующим образом. В нормальном режиме в течение заданного интервала выполняется установленное количество пингов, и один раз опрашиваются прочие каналы. В режиме «Non stop» – непрерывно (но с количеством пингов не более 600) дважды выполняется цикл излучения акустических сигналов и производится считывание каналов. Интервал измерения в секундах в этом случае равен количеству каналов, умноженному на 4 плюс 2 секунды. В режиме «R» заданное количество пингов приходится на десятиминутный интервал при непрерывном излучении акустических сигналов, а запрос каналов производится после последних 600 пингов.

Прибор устанавливается в монтируемой к корпусу раме. Отличием в креплении RCM 9IW в такелаже является то, что прибор вывешивается на конце синтетического троса, а утяжеляющий груз весом 15 кг удален вниз от прибора на синтетическом тросе на 5 м. Запас времени по питанию (батареи типа 3614 AANDERAA) при измерении через 10 минут равен 92 суткам.

После окончания работы прибор извлекается из прочного корпуса, выключается, снимается устройство накопления данных DSU 2990 (либо DSU 2990E). Оно подключается к устройству считывания данных DSU Reader 2995, подключенному к персональному компьютеру. С помощью штатной программы «Data Reading Program DRP 5059» производится синхронизация часов прибора с компьютером, считывание данных, они ассоциируются с измеряемыми переменными. Далее возможно сохранение данных в виде ASCII – кодов, расчет статистических оценок рядов данных.

Измеритель течения SEAGUARD RCM IW во многом принципиально схож с RCM 9IW. Отличием является использование датчика скорости течения типа Zpulse (на RCM 9IW установлен датчик типа DCS 3820). В данной модификации (рис. 13) также, как и RCM 9IW, имеются аналогичные датчики температуры и электропроводности, давления. Кроме того, под-

готовка прибора к работе производится с использованием программы «SEAGUARD Studio». Данные хранятся в несъемном блоке. Однако для подготовки к работе и считывания данных прибор также извлекается из прочного корпуса. По классу точности датчиков температуры и RCM 9IW, и SEAGUARD RCM IW относятся к минимально точным, электропроводности и давления – к высшему классу точности (табл. 1, табл. 4). Набор такелажа и схема установки прибора аналогичны описанному выше для RCM 9IW.

Акустические доплеровские профилографы (ADCP) WorkHorse Sentinel 300 кГц (WHS300) и (ADCPLR) WorkHorse Long Ranger 75 кГц (WHLS75) имеют четыре излучателя акустического сигнала типа Convex, расположенные на верхней крышке прибора (рис. 1И, рис. 1К). Излучатели наклонены относительно горизонтальной оси на 20°. На приборах также установлены датчики температуры для коррекции значений скорости, могут быть установлены датчики давления (тензорный датчик). Запас времени по питанию 45 и 55 суток в установленном десятиминутном режиме измерения для профилографов WHS300 и WHLS75 соответственно.

Подготовка прибора к работе и считывание данных производится программно. Разбирать прибор требуется только для подключения (замены) питания или переключения типа интерфейса. Перед установкой прибор тестируется с помощью приложенного к нему программного обеспечения (программа «WinSc»). После контрольного включения проводится оценка измерений каналов температуры и давления. Перед включением прибора в рабочий режим проводится калибровка магнитного компаса, установка нуля глубины, времени встроенных часов. Непосредственно перед установкой профилографа в майну, программой «PlanADCP» выставляются следующие параметры: тип измерителя (частота сигнала), диапазоны измерения (океан), тип постановки (буйковая станция), диапазон глубин измерения, размер и количество ячеек (слоев) измерения, объем памяти, интервал осреднения (дискретность), максимальная продолжительность работы, примерная температура и соленость воды в период измерений. Также можно установить: допустимое стандартное отклонение измерений скорости, количество пингов в ансамбле измерений (умолчание 50 пингов), интервал между пингами, магнитное склонение. Более тонкая настройка прибора может осуществляться командами в программе «WinSc» перед пуском программы, планирующей постановку «PlanADCP». Можно устанавливать режим мгновенных измерений и его параметры, регулировать амплитуду сигнала, ширину полосы излучения, режим высокого разрешения (для WHLS75) и т. п. Перенос данных на компьютер, обработка измерений производится с помощью программы «WinSc». Более подробное представление исходных данных и вывод их в виде ASCII-кодов выполняется с помощью программы «WinADCP».

Излучатели профилографов можно ориентировать как вверх, так и вниз. Задаваемая толщина слоев лимитируется необходимой точностью измерения (табл. 5). По классу точности датчика температуры данные профилографы относятся к ненормируемым, что оправдано, поскольку данный параметр выступает как вспомогательный. По классу точности датчика давления они относятся к высшему классу точности (табл. 1). Кроме интерфейса типа RS232 (RS232C) профилографы течений также имеют интерфейс типа RS422. Передача данных производится со скоростью 9600–115 400 бод.

Приборы устанавливаются в монтируемой к корпусу раме. Набор такелажа и крепление WHS300 в майне выполняется аналогично описанному ранее для RCM 9IW, но приборы не утяжеляются. Профилограф течений WHLS75 имеет значительный вес (120 кг с рамой) и габариты (табл. 4), что требует использования иной, нежели для WHS300 схемы установки. Он устанавливается под лед в обогреваемую майну размером около 100×150 см внутри палатки КАПШ-3. Майна обогревается ТЭНом на плавучей раме мощностью 1 кВт. Дополнительно на стенках майны с двух сторон устанавливаются притопленные ТЭН мощностью 0,4–0,5 кВт. Синтетический трос, на котором висит прибор, пропускают через блок для обеспечения воз-

возможности его быстрого извлечения, а также возможности его подъема для контрольного считывания данных.

При расстановке профилографов WHS300 и WHLS75 следует иметь в виду возможность наложения сигналов разной частоты, приводящего к сбоям. Как показала практика работ на СП, для исключения наложения сигналов следует разносить измерители на расстояние не менее 50 м. В качестве примера использования данных измерения течения профилографом WHS300 может служить представление пространственного распределения средних векторов (трехсуточное осреднение) течений на горизонте 69 м, полученное в ходе экспедиции СП-36, приведенное на рис. 3.

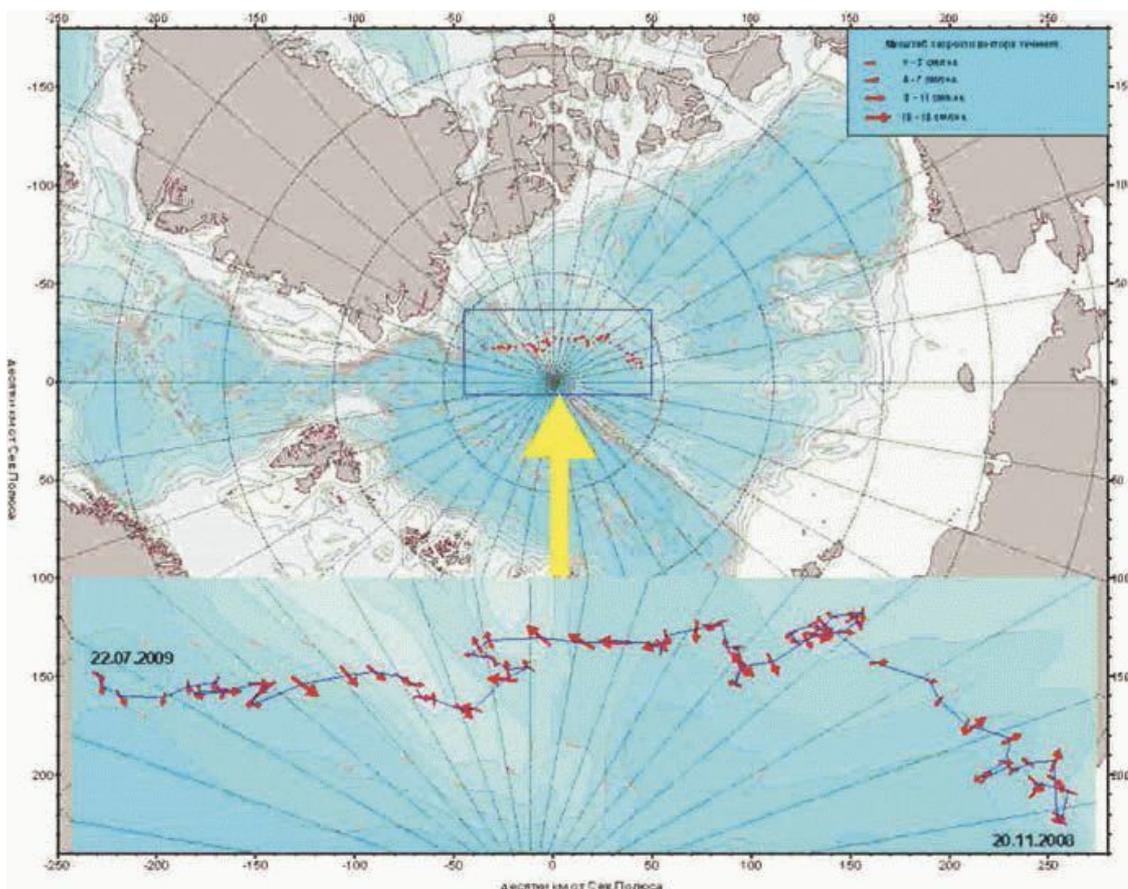


Рис. 3. Пространственное распределение средних векторов течений на горизонте 69 м по данным, полученным профилографом течений WHS300

Заключение

Качественный и количественный прорыв в приборной базе, используемой при проведении океанологических исследований в Арктике, наиболее очевиден на примере экспедиций на научно-исследовательских дрейфующих станциях «Северный полюс», организуемых ААНИИ (табл. 6). Увеличение приборной базы по номенклатуре и по количеству измеряемых этими приборами океанологических параметров имело место, начиная с работ сезонного отряда дрейфующей станции СП-34 в 2006 г. Нарастание объема выполняемых наблюдений связанное с расширением приборной базы видно из табл. 7, где показан объем наблюдений, выполненных в тех же экспедициях, что и указанные в табл. 6. При этом если количество гидрологических станций определяется продолжительностью работ на каждой из СП, то объем выполненных измерений течений в большей степени связан с указанными выше тенденциями.

Значительный спад количества данных наблюдений на дрейфующей станции СП-37 определяется субъективными причинами.

Таблица 6. Состав приборной базы (в единицах), активно используемой при проведении океанологических исследований на российских дрейфующих станциях «Северный полюс»

Прибор	СП-32 (2003-2004)	СП-33 (2004-2005)	СП-34 (2005-2006)	СП-34 сезон (2006)	Ледовая База (2007)	СП-35 (2007-2008)	СП-36 (2008-2009)	СП-37 (2009-2010)
SBE 19plus	1	1	2	1	1	1	1	2
SBE 37SM	–	–	–	–	–	–	2	2
RCM 91W	–	–	–	2	2	2	1	–
Seaguard RCM 1W	–	–	–	–	–	–	–	1
RD1 WHS300	–	–	–	1	2	2	2	2
RD1 WHLS75	–	–	–	–	–	1	1	1
Всего	1	1	2	4	5	6	7	8

Таблица 7. Общий объем наблюдений, выполненных океанологическими отрядами на российских дрейфующих станциях «Северный полюс» с применением современной приборной базы.

Наблюдения	Ед.	СП-32	СП-34	СП-34 сезон	Ледовая База	СП-35	СП-36	СП-37
Гидрологические станции	ед.	161	120	37	55	251	325	200
Измерения течений ¹	сут.	–	–	395	1741	17248,8	11642,88	2821,24

Примечания: ¹ – суммарная продолжительность измерений течений на всех горизонтах

Углубление исследований СЛО с применением современных приборов и оборудования связано со следующими перспективными решениями:

- в рамках работ на дрейфующем льду:
 - незначительное увеличение количества автономных измерителей температуры и электропроводности SBE 37SM и профилографов течений WHS300 для обеспечения полигонных постановок с целью исследования пространственно-временной изменчивости гидрологических параметров на отдельных горизонтах;
 - качественное увеличение получаемой информации за счет исследования микропульсаций гидрологических параметров подо льдом, например, используя RMS (Recording Microstructure System) производства Rockland Scientific (Канада);
 - использование современного вспомогательного оборудования (треноги, лебедки);
- в судовых экспедициях:
 - увеличение количества измеряемых при зондировании параметров, например, при установке на розетке профилографа WHS600 или WHS300, имеющего режим работы LADCP, установке датчиков растворенных газов (кислород, метан), датчика флуоресценции фитопланктона;
 - использование малоинерционных приборов для исследования поверхностного слоя, например, турбулиметров (VMP750VMP2000 производства Rockland Scientific или Turbo MAP-L производства ALEC Electronics (Япония)).

В работе использованы данные технических описаний приборов, а также информация фирм-изготовителей, размещенная на их сайтах.

Литература

Левашов Д.И. Техника экспедиционных исследований. М.: Издательство ВНИРО, 2003. 399 с.

S.B. Kuzmin⁴, A.Yu. Ipatov⁵. Modern oceanographic instruments and observations technique applied with respect to research of hydrological conditions at the Arctic Ocean

Abstract

Modern oceanographic instruments used during expeditions at the Arctic Ocean are described. Characteristics of recorders, profilographs, probes are shown in details. The quality estimations of augmentation of instruments assembly used to investigate oceanographic parameters in the Arctic Ocean are presented. The quantitative estimations of augmentation oceanographic data base during last decade has been obtained, are presented too. Few expeditions took place at last decade (during IPY 2007/08 too) under Arctic and Antarctic research institute (AARI) leadership at the Arctic Ocean both from the ice and onboard are used as example to show up-to-date oceanographic technique.

**С.А. Кириллов⁶, К.В. Фильчук⁷
Использование заякоренных и дрейфующих буйковых измерительных комплексов для непрерывной регистрации параметров состояния морской среды в Арктике**

Аннотация

В статье рассмотрены основные методики получения информации по гидрофизическому состоянию Северного Ледовитого океана (СЛО) с автономных измерительных платформ, к которым относятся заякоренные и дрейфующие буйковые комплексы. Анализируются преимущества и недостатки каждого из видов наблюдений, а также перспективы их дальнейшего использования для развития наблюдательной сети в СЛО.

Введение

Северная полярная область является частью глобальной климатической системы, где наблюдаются наиболее сильные естественные флуктуации ее состояния. Это связано со значительным влиянием адвективного обмена с субарктической зоной с одной стороны, а также с существованием сложных процессов взаимодействия отдельных компонентов арктической климатической системы между собой и многочисленных механизмов прямых и обратных связей с другой. В течение двух последних десятилетий климатические изменения в Арктике стали наиболее заметны в связи со значительными изменениями, выраженными в существенном увеличении температуры воздуха и сокращении площади и толщины арктических льдов. С 1987–1989 гг. началось повышение температуры атлантических вод в Северном Ледовитом океане (СЛО), которое для отдельных районов превысило максимальные значения за весь исторический с 1887 г. период наблюдений. В конце 90-х годов прошлого века научная актив-

⁴ Arctic and Antarctic research institute, St. Petersburg, Russia

⁵ Arctic and Antarctic research institute, St. Petersburg, Russia

⁶ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

⁷ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

ность в области исследования Северного Ледовитого океана стала нарастать. Вначале это были отдельные рейсы судов и ледоколов в арктические моря и Арктический бассейн СЛО, авиационные экспедиции с высадкой на лед и др. Затем стали выполняться международные научные программы, которые ставили задачей исследование океанографических процессов в отдельных частях Северного Ледовитого океана в условиях быстро меняющихся природных условий.

Наблюдаемые климатические изменения, в свою очередь, открывают широкие перспективы развития природопользовательской и хозяйственной деятельности в высокоширотных районах, что сопровождается усилением антропогенного влияния на хрупкую арктическую экосистему в целом. Одновременно с этим возрастают риски, связанные с влиянием сложных гидрометеорологических условий на хозяйственную деятельность. В этой связи безусловным фактором, снижающим упомянутые риски, является развитие системы мониторинга гидрофизического состояния вод арктического бассейна и окраинных морей, действующей в автономном режиме.

В настоящее время поступление информации о гидрофизическом состоянии СЛО с автономных измерительных комплексов обеспечивается в двух вариантах. Первый вариант подразумевает получение данных при помощи заякоренных буйковых измерительных комплексов, устанавливаемых в отдельных районах арктического бассейна на длительный период с последующим подъемом этих комплексов и скачиванием информации. Второй вариант предполагает оперативное поступление информации через спутниковые каналы связи с дрейфующих буйковых измерительных комплексов.

В настоящей статье будут рассмотрены основные вопросы, касающиеся способов получения гидрофизической информации в СЛО при помощи таких комплексов, а также вопросы перспективности их дальнейшего использования для развития наблюдательной сети в СЛО.

Заякоренные буйковые измерительные комплексы

В последние годы все большее развитие в системе мониторинга текущих изменений состояния арктической климатической системы получают автономные заякоренные измерительные комплексы (или ПБС – притопленная буйковая станция), с помощью которых выполняется сбор информации в фиксированной точке в течение продолжительного (как правило, в течение одного года) периода времени. Автономные заякоренные буйковые станции, наряду с экспедиционными судовыми средствами получения информации, являются одним из мощнейших инструментов сбора данных о гидрофизическом состоянии водной толщи и протекающих в ней процессов. При этом перечень параметров, которые возможно регистрировать при помощи заякоренных станций, является весьма широким и определяется исключительно списком уже существующих приборов, предназначенных для измерения характеристик состояния морской среды и способных работать в автономном режиме. Кроме этого, подобные системы являются единственной возможностью получить достоверную оценку параметров динамического состояния водной толщи: скоростей и направлений морских течений, их сезонной и межгодовой изменчивости, характеристик приливных течений и пр. Кроме того, в настоящее время наряду с приборами, устанавливаемыми в составе ПБС на фиксированных горизонтах, в практику океанографических наблюдений все чаще входят профилографы, осуществляющие вертикальное перемещение вдоль несущего троса комплекса в пределах выбранного диапазона глубин и записывающие информацию о вертикальном распределении основных параметров состояния (температура, соленость, скорость течения) водных масс.

Конструктивно ПБС состоят из четырех основных элементов, к которым относятся: якорь, удерживающий измерительный комплекс в точке постановки (рис. 1 б); несущий буй положительной плавучести для поддержания станции в вертикальном положении (рис. 1 а); акустический размыкатель, служащий для связи с комплексом и приема сигнала на всплытие от

бортового устройства (рис. 1 в), и связующий синтетический или металлический трос (рис. 1 г), на котором устанавливаются приборы и оборудование.

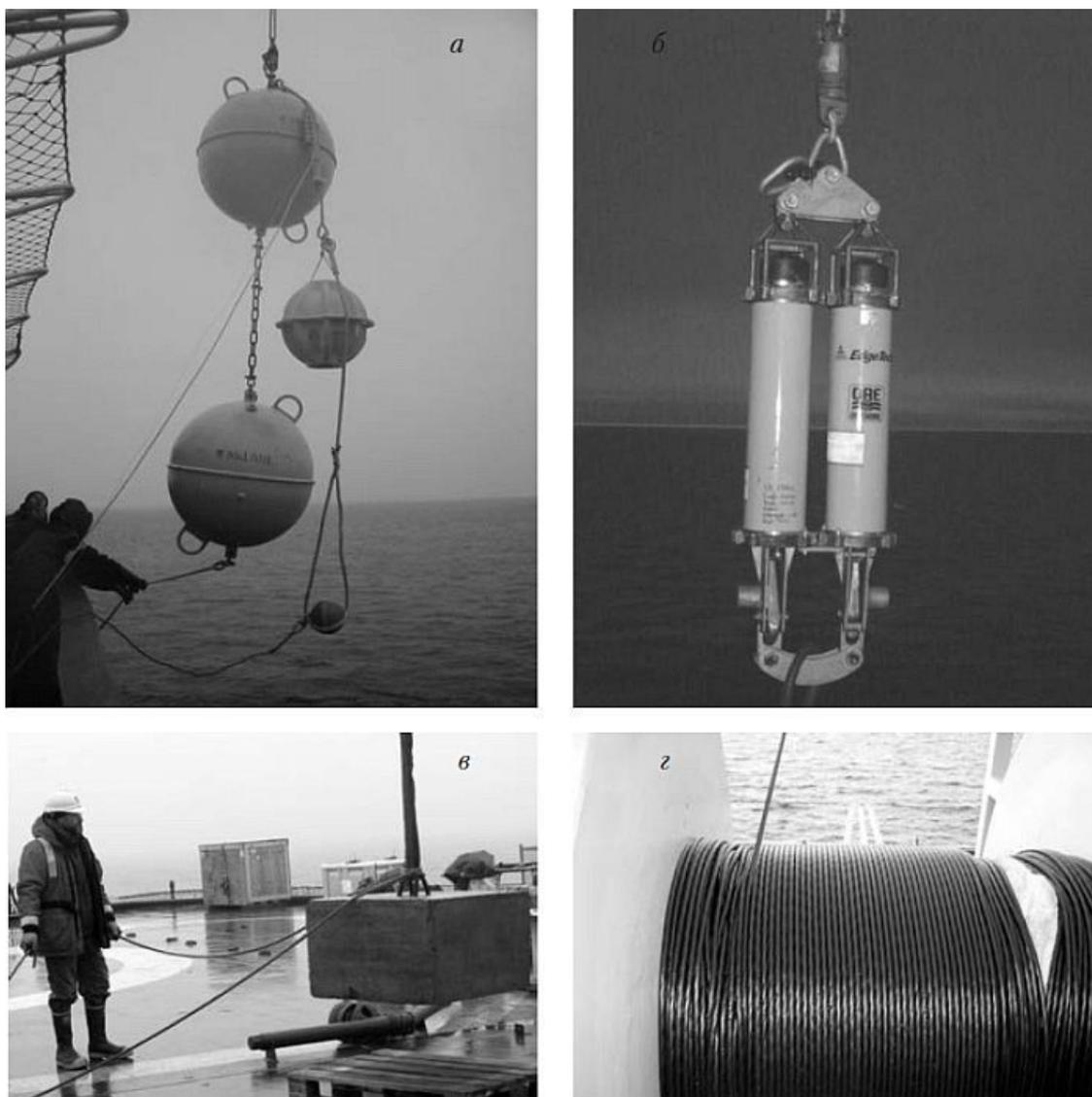


Рис. 1. Основные составляющие части автономного заякоренного буйкового измерительного комплекса: а) – несущие буи; б) – акустический размыкатель в комплекте с бортовым устройством; в) – якорь/груз; г) – трос

Основой успешного использования ПБС является учет нескольких основных моментов, часть из которых связана с чисто техническими проблемами (правильный расчет нагрузки ПБС, защита от коррозии), а часть – с правильной последовательностью действий по подъему станции. При этом, как показывает опыт, при правильно организованной постановке ПБС проблем удается избежать.

Расчет нагрузки, в которую входит определение достаточного веса якоря для удержания станции в точке постановки и размера элементов плавучести в верхней части ПБС, производится в зависимости от общего количества используемых в составе станции приборов, их веса и размеров, при учете динамических нагрузок (течения), характерных для исследуемого района. Очевидно, что увеличение количества приборов приводит к увеличению веса и необходимости увеличения размеров элементов плавучести. Аналогичное увеличение плавучести требуется также при увеличении парусности станции за счет включения в ее состав значительных по раз-

мерам приборов или в условиях активной динамики водных масс. Одновременно с этим увеличение плавучести вызывает необходимость увеличения веса якоря и использования более прочного троса.

Суть борьбы с коррозией на металлических элементах конструкции ПБС заключается в установке в районе предполагаемого коррозионного разрушения *протекторов* – металлических накладок из магниево-алюминиевого сплава или цинка, электрический потенциал которого ниже потенциала защищаемого металла. Этот способ основан на разнице электрических потенциалов металла (катода), подвергающегося коррозии, и протектора (анода). Цинк в том случае оказывается эффективен только при высокой его чистоте (более 99,9 %) или в сплаве с 1–3 % магния. В противном случае протектор быстро покрывается окислами, изолирующими его поверхность от воды.

Установка и демонтаж заякоренных буйковых комплексов осуществляется в основном во время проведения комплексных морских научно-исследовательских экспедиций. В последние годы большая часть таких комплексов на акватории СЛО была установлена в рамках международных проектов, таких как NABOS (Nansen And Amundsen Observational System – Система наблюдений в бассейнах Нансена и Амундсена), SEARCH (Study of Environmental Arctic Changes – Программа исследований изменений в природной среде Арктики), CABOS (Canadian Basin Observational System – Система наблюдений в Канадском бассейне), DAMOCLES (Developing Arctic Modeling and Observing Capabilities for Long-term Environmental Studies – Программа усовершенствования модельных и мониторинговых исследований природной среды Арктики), Laptev Sea System (Система моря Лаптевых), CASES (Canadian Arctic Shelf Exchange Study – Программа исследования процессов шельфового обмена в Канадской Арктике), SBI (Arctic Shelf-Basin Interaction – Проект изучения взаимодействия между шельфовой и глубоководной частью СЛО), RUSALCA (Russian-American Long-term Census of the Arctic – Российско-американская долговременная программа арктических исследований) и др. В ряде случаев задачи по постановке и снятию станций решались с привлечением средств авиации, например, в рамках программы наблюдательной системы в районе Северного Полюса (North Polar Environment Observatory), осуществляемой в Центре Полярных исследований университета Вашингтон (рис. 2).

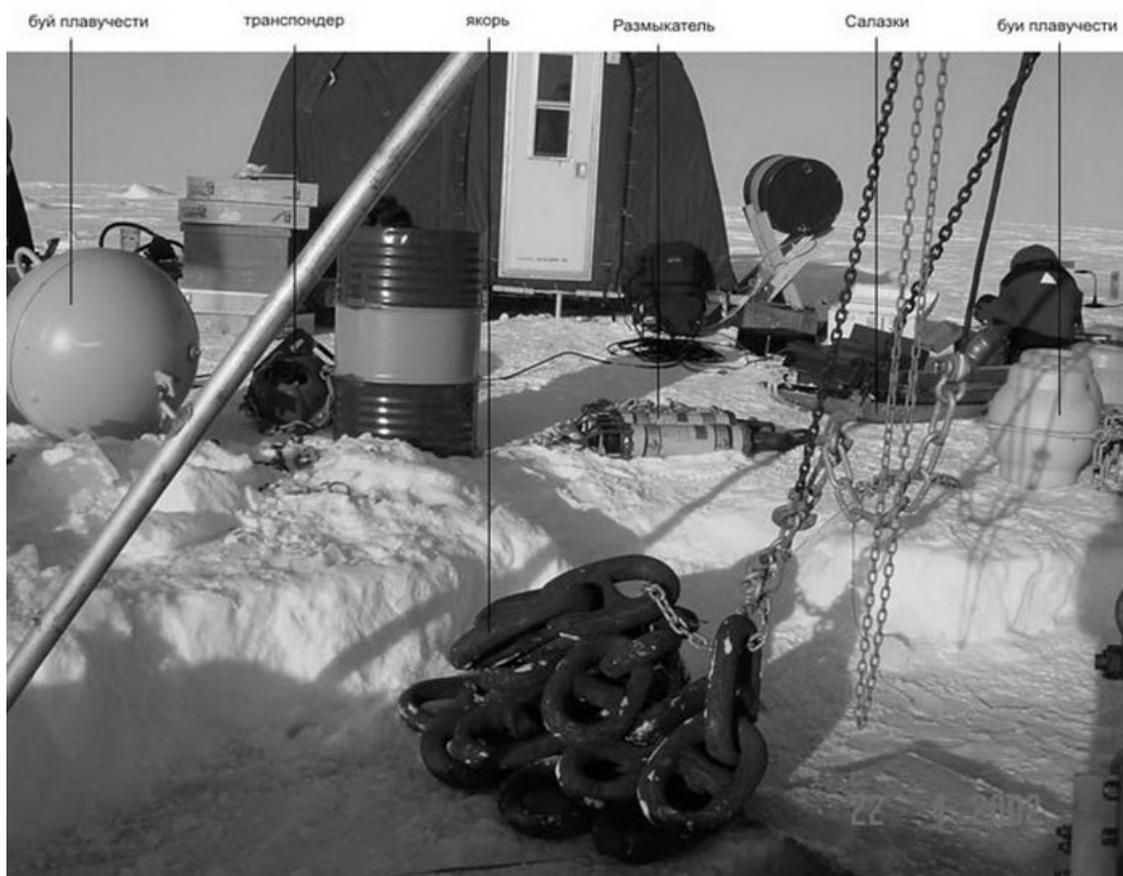


Рис. 2. Постановка ПБС с дрейфующего льда в рамках научно-исследовательской программы NPEO

Российский вклад в развитие системы мониторинга при помощи заякоренных буйковых комплексов в основном представлен в виде совместных инициатив с зарубежными научно-исследовательскими институтами. Российские ученые и специалисты при этом принимали непосредственное участие в разработке и развитии целого ряда из представленных выше программ мониторинга, к которым можно отнести такие международные проекты как RUSALCA, NAVOS и Laptev Sea System. При этом экспедиционные исследования, выполняемые в рамках этих проектов в окраинных морях российской Арктики, организовывались и проводились при непосредственном участии или под руководством ААНИИ.

В перспективе в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте рассматривается возможность развития национальной системы мониторинга при помощи заякоренных станций в СЛО. В качестве предполагаемого места осуществления такой программы рассматривается район узкого шельфа и глубоководной части Арктического бассейна на траверзе мыса Арктического, как одном из наиболее интересных районов с точки зрения современных изменений морского климата северной полярной области и особенностей протекания океанографических процессов.

Основным препятствием для повсеместного внедрения практики использования автономных заякоренных комплексов в Арктике является практически круглогодичное присутствие ледяного покрова. В этих условиях экспедиции, в рамках которых осуществляется подъем и постановка комплексов, как правило, проводятся на судах, обладающих различными ледовыми классами. В настоящее время к научно-исследовательским судам ледокольного типа можно отнести: *Академик Федоров* (Россия), *Louis St.Laurent*, *Amundsen* (Канада); *Polarstern* (Германия); *Oden* (Швеция); *Healy* (США); *Xuelong* (Китай). Причем в подавляющем большин-

стве случаев использование этих судов возможно только в течение относительно короткого промежутка времени, ограниченного несколькими летними месяцами, когда наблюдается максимальное сокращение площади и толщины ледяного покрова в Арктическом бассейне. Кроме судов ледокольного типа в СЛО в летнее время экспедиционные исследования проводятся также с судов, обладающих более легким ледовым классом или даже отсутствием последнего, но район действия этих судов ограничен относительно небольшими пространствами чистой воды или разреженного льда в прикромочной зоне. Однако практика последних лет показывает, что в условиях значительного сокращения площади ледяного покрова в летний период, с помощью таких судов удается получать все большее пространственное покрытие натурными гидрофизическими данными.

Отдельной и самой сложной задачей является подъем ПБС в условиях присутствия ледяного покрова. Особенно подъем затрудняется в случае наличия разреженных льдов, когда сделать майну при помощи судна не представляется возможным и становится высокой вероятность всплытия поверхностных буев под отдельно плавающие льдины. В случае наличия сплоченного льда подъем также представляет собой известные трудности, которые связаны с целым набором последовательно выполняемых действий. Первым является триангуляция и расчет точного положения либо придонных акустических размыкателей, либо специального позиционирующего акустического устройства (транспондера), устанавливаемого в верхней части станций. В условиях глубокого океана и присутствия течений горизонтальная разница положения этих двух элементов может составлять несколько десятков метров, а иногда и более сотни. После этого осуществляется расчет скорости и направления дрейфа льда, времени, необходимого на подготовку майны необходимого размера, и начинаются работы по ее формированию. При условии правильной оценки дрейфа, в момент прохождения майны над позицией ПБС с бортового акустического устройства передается сигнал размыкателю на всплытие (рис. 3).



Рис. 3. Подъем притопленной буйковой станции в условиях высокой сплоченности льда в районе постановки ПБС (а, б)

Наиболее интересные результаты могут быть получены при использовании профилографов, перемещающихся вдоль несущего троса ПБС. Пример записи изменений вертикального профиля температуры в северной части моря Лаптевых показан на рис. 4. В частности, благодаря использованию технологии профилирования удалось установить ряд интересных особенностей динамики и термохалинной изменчивости глубинной атлантической водной массы в этом районе и зафиксировать существенный рост температур в ядре Атлантических вод в 2003–2004 гг.

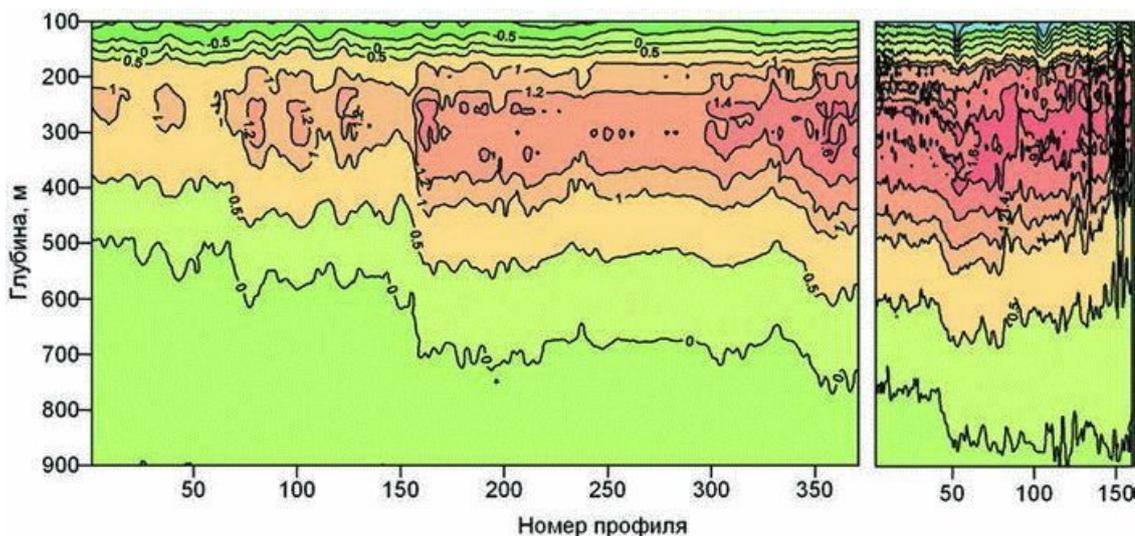


Рис. 4. Пример записи изменений вертикального профиля температуры в северной части моря Лаптевых по данным притопленной буйковой станции в период с 9 сентября 2003 г. по 6 февраля 2005 г.

Дрейфующие буйковые измерительные комплексы

Одним из перспективных направлений развития наблюдательной сети в СЛЮ является создание и поддержка системы автономных дрейфующих измерительных комплексов, выполненных на базе современных технических средств, позволяющих получать высокодискретные вертикальные профили гидрофизических характеристик в толще воды, осуществлять глобальное позиционирование, выполнять операции обмена данными с использованием спутниковых каналов связи. Впервые подобный подход был опробован в рамках совместного американо-канадско-японского проекта Beaufort Gyre Exploration Project (проект исследований в круговороте Бофорта). Специально для задач проекта был разработан научно-технический комплекс, получивший наименование ИТР (Ice-Tethered Profiler). В период 2004–2005 гг. на дрейфующем льду моря Бофорта были установлены три прототипа ИТР. Опыт эксплуатации прототипов (два из трёх сохраняли работоспособность в течение десяти месяцев с момента установки, передавая на сервер разработчиков результаты профилирования температуры и солёности более чем в тысяче пунктов каждый, а также большой объём диагностической информации о состоянии прибора) позволил обосновать целесообразность дальнейшего развития проекта.

Комплекс ИТР состоит из трёх основных компонентов: находящегося на поверхности льда буя, подвеса с концевым грузом и профилографа, перемещающегося в вертикальном направлении по подвесу (рис. 5). Буй представляет собой выполненный из пенопласта высокой плотности цилиндр, внутри которого размещен водонепроницаемый алюминиевый бокс с электронной аппаратурой. Набор аппаратуры включает в себя контроллер, индукционный модем, GPS-приёмник, оборудование спутниковой связи системы Iridium. Антенны GPS-приёмника и спутникового телефона размещены в верхней, выступающей за пределы пенопластового кожуха, части бокса и защищены прочным радиопрозрачным колпаком. Также в корпусе буя размещаются аккумуляторные батареи. Поздние модификации комплекса стали оснащаться пенопластовым конусом, призванным обеспечить бую дополнительную плавучесть, что позволяет производить установку на открытой воде. Конус устанавливается на лёд вершиной вниз, а на его основание монтируется блок с аппаратурой. К нижней части буя металлическим фланцем крепится кабель-трос подвеса. Кабель-трос совмещает функции направляющей движения профи-

логафа и сигнальной линии. Для того чтобы подвес принимал вертикальное положение при значительных скоростях дрейфа, к его нижнему концу подвешивается груз весом около 100 килограмм. Верхние 5 метров кабель-троса защищены от механических воздействий льда уретановым рукавом. Кроме того, на нижнем конце рукава закреплена бронзовая контактная пластина, обеспечивающая коммуникационной схеме комплекса электрическую «землю». Перемещающийся по подвесу профилограф представляет собой пластиковый бокс цилиндрической формы, внутри которого размещены: измерительное оборудование Sea-Bird 41 CP CTD, индукционный модем, электродвигатель, аккумуляторные батареи. Состав измерительного оборудования может быть расширен за счёт оснащения профилографа дополнительными датчиками. Профилограф монтируется на кабель-тросе через верхний и нижний направляющие ролики, а также ролик электродвигателя. Вращение плотно прижатого к тросу ролика электродвигателя и обеспечивает вертикальные перемещения профилографа. Коммуникационный обмен с поверхностным блоком осуществляется посредством индукционных модемов. Модем профилографа наводит в проводнике кабель-троса полезный сигнал, считываемый модемом, размещённым в корпусе буя. Заряда аккумуляторных батарей комплекса хватает не менее чем на два года непрерывной работы. Разворачивается комплекс с использованием специального оборудования силами трёх человек в течение трёх-четырёх часов.

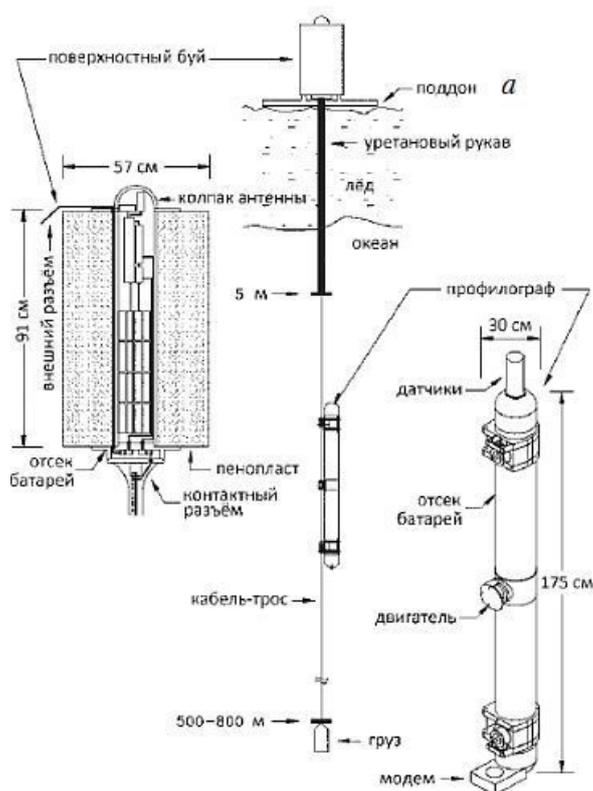


Рис. 5. Схема (а) и процесс установки (б) элементов комплекса ИТР

Начиная с 2006 года и по настоящее время на дрейфующих льдах Арктического бассейна ежегодно выставляется от трёх до двенадцати буёв ИТР, а всего за рассматриваемый период в Арктике было задействовано тридцать восемь комплексов. Общее количество полученных профилей оценивается в тридцать тысяч.

На рис. 6 с цветовой дифференциацией по годам представлены пункты акватории Арктического бассейна, в которых было выполнено профилирование комплексами ИТР. Как видно, наибольшая концентрация точек профилирования достигнута в акватории моря Бофорта, в соответствии с первоначальными целями проекта. Однако и в центральной части Арктиче-

ского бассейна были задействованы двенадцать буёв ИТР, в том числе в период МПГ в рамках российских арктических экспедиций на НЭС «Академик Федоров» были установлены в 2007 году пять комплексов, в 2008 году – 4 комплекса ИТР.

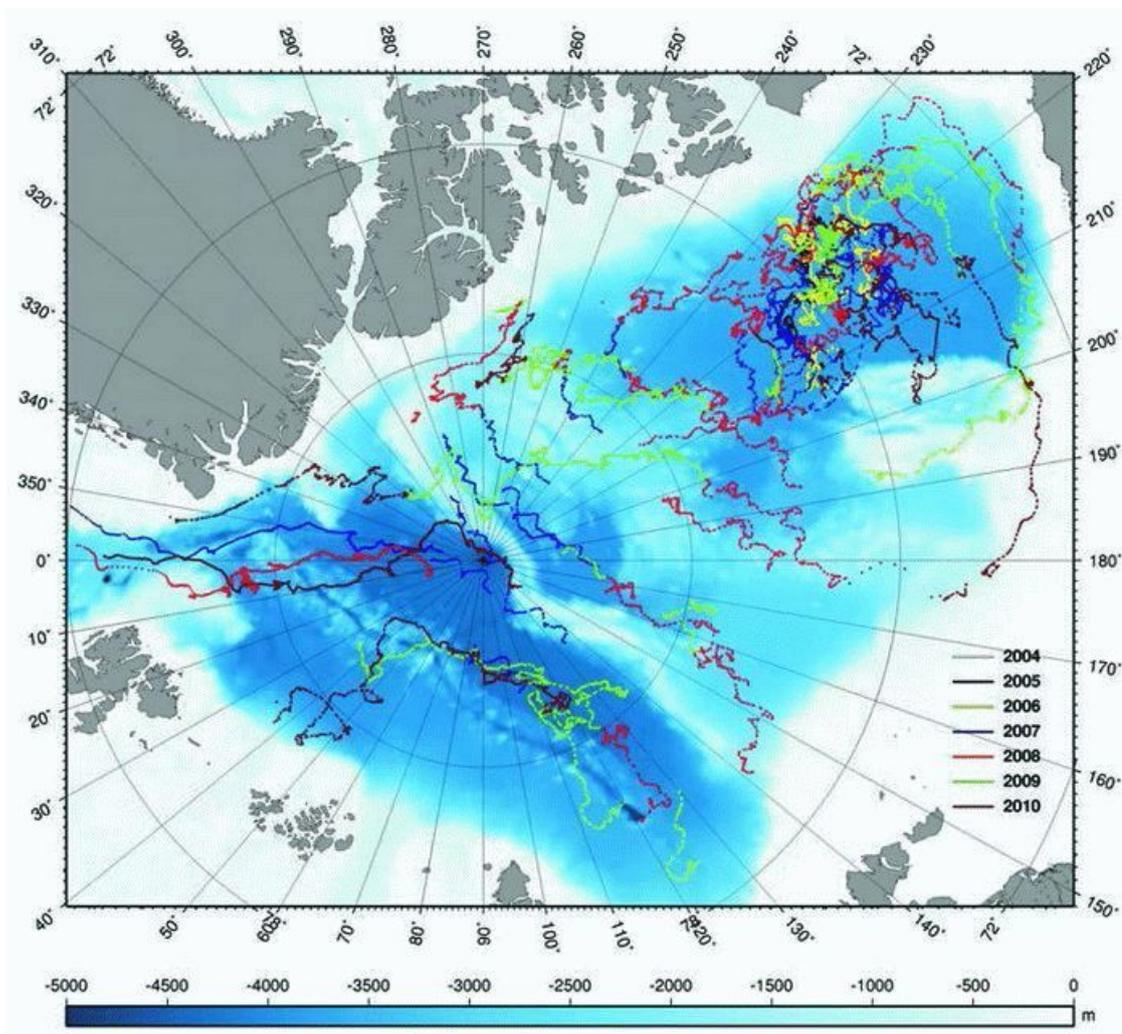


Рис. 6. Положение пунктов в Арктическом бассейне СЛО, в которых с буёв ИТР выполнялось профилирование в период 2004–2010 гг.

Дрейфующие комплексы ИТР являются автономными платформами, обеспечивающими регулярное поступление оперативной океанографической информации в течение всего года. Поздние модификации буёв выполняют термохалинное профилирование до шести раз в сутки. Наличие приёмника GPS позволяет рассматривать комплекс как источник информации высокого временного разрешения о характере дрейфа морского льда в месте нахождения буя. В случаях удачного выбора района постановки, когда льдина-носитель оказывается вовлечённой в продолжительный дрейф и в течение долгого времени не разрушается и не выносится из Арктического бассейна, комплекс ИТР несколько лет может служить поставщиком океанографических данных (рис. 7).

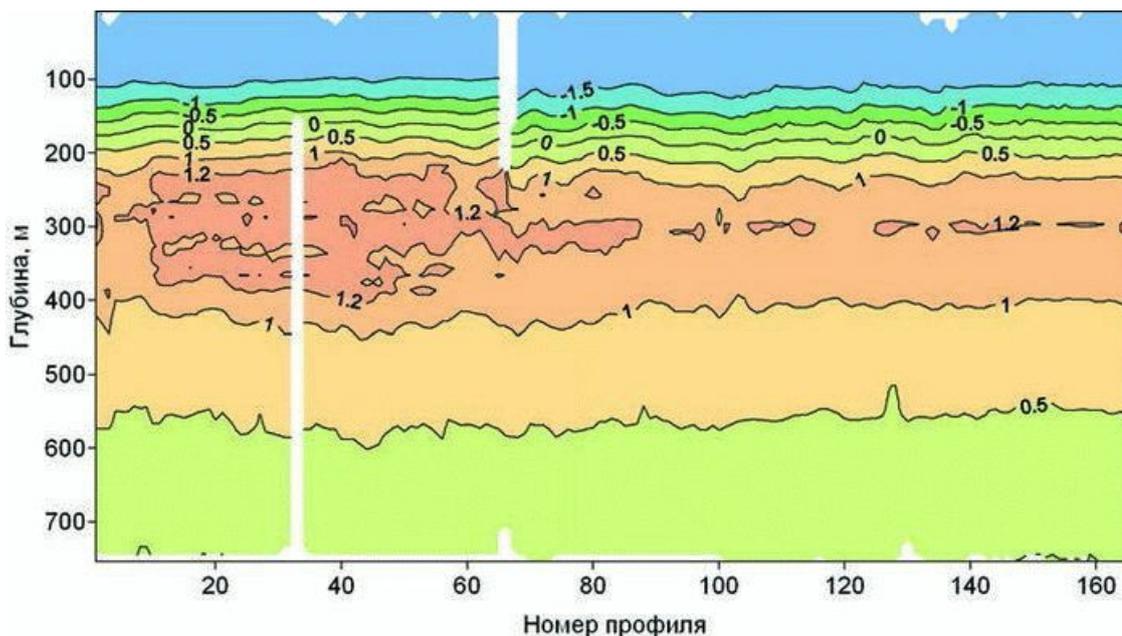


Рис. 7. Пример записи изменений вертикального профиля температуры в приполюсном районе по данным ИТР-буя № 14 в период с 13 сентября по 5 ноября 2007 г.

Накопленный опыт использования ИТР позволил выявить и устранить ряд технологических недостатков, оптимальным образом реализовать заложенные на этапе проектирования комплекса идеи. Таким образом, можно считать, что наиболее затратный в экономическом отношении период опытной эксплуатации преодолён. Стоимость производства и развёртывания комплекса невелика в сравнении с затратами на организацию океанографических наблюдений с других платформ, таких как научно-исследовательские суда и дрейфующие станции. Конечно, ИТР не обеспечивает комплексную регистрацию дополнительных параметров, характеризующих состояние снежно-ледяного покрова и атмосферы. Этот недостаток может быть устранён путём использования ИТР в составе автономных дрейфующих обсерваторий, включающих также автоматические метеостанции, балансомерные ледовые буи и другое измерительное оборудование. Ввиду особенностей конструкции, обусловленных необходимостью адаптации комплекса к усреднённым характеристикам ледяного покрова и батиметрическим условиям на целевой акватории, ИТР не может получать информацию о поверхностном слое воды до глубины 5–7 метров и выходить на мелководные участки Арктического бассейна. Тем не менее, с помощью ИТР-комплексов может осуществляться мониторинг пространственного расположения струи Атлантических вод и термохалинных характеристик в их ядре. Поскольку совокупность перечисленных параметров определяет один из основных климатообразующих факторов арктического региона, дальнейшее развитие программы ИТР на всей глубоководной части акватории СЛО представляется перспективным направлением научных исследований в Арктике.

Заключение

Подводя итог обзора автономных измерительных комплексов можно отметить, что если заякоренные комплексы нацелены в основном на изучение гидрологических процессов, то задачам мониторинга гидрофизического состояния СЛО в большей степени отвечают дрейфующие буйковые станции. Современные модификации дрейфующих комплексов позволяют осуществлять их постановку как на открытую воду, так и на дрейфующий лед. Наряду с этим надёжность разработанных и уже используемых комплексов доказывает высокую экономиче-

скую эффективность их дальнейшего использования в Арктике вне зависимости от направленности климатических изменений и состояния ледяного покрова. Кроме этого дрейфующие буйковые станции являются единственными автономными платформами, обеспечивающими оперативное поступление океанографической информации в течение круглого года. В экономическом отношении они значительно выигрывают у дрейфующих ледовых станций, организация, обеспечение и эвакуация которых приводит к высоким финансовым затратам.

S.A. Kirillov⁸, K.V. Filchuk⁹. The anchored and drifted observational platforms for continuous registration of seawater parameters in the Arctic Ocean

Abstract

The anchored and drifted observational platforms are considered as the main autonomous techniques which gains information on hydrophysical state of the Arctic Ocean. The advantages and disadvantages of both methods are discussed along with the perspectives of their further using for the observational network in the Arctic.

Е.В. Блошкина¹⁰, А.К. Платонов¹¹, Н.А. Куссе-Тюз¹², В.И. Дымов¹³, Т. А. Пасечник¹⁴, В.В. Алексеев¹⁵
Возможности и перспективы мониторинга и изучения гидрологических условий Северного Ледовитого океана по данным спутниковых измерений

Аннотация

Статья посвящена возможностям использования спутниковой информации для мониторинга и изучения гидрологических условий Северного Ледовитого океана и его морей. Приводятся основные технические характеристики некоторых космических спутников и аппаратов дистанционного зондирования Земли. Рассматриваются особенности космического зондирования для определения температуры поверхности океана и уровня моря. Обсуждается вопрос использования спутниковой альтиметрической информации для верификации моделей ветрового волнения и её усвоение (ассимиляция) моделями ветрового волнения в оперативной практике. На конкретном примере показывается, что спутниковые данные по морскому волнению не всегда подходят для оперативной ассимиляции. Наблюдения за проявлениями на поверхности моря сложных динамических метеорологических и океанографических явлений, пятен поверхностных загрязнений позволяют проводить радиолокаторы с синтезированной апертурой, установленные на борту космических спутников.

⁸ Arctic and Antarctic Research Institute

⁹ Arctic and Antarctic Research Institute

¹⁰ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

¹¹ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

¹² Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

¹³ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

¹⁴ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

¹⁵ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

Введение

Результаты анализа изменений гидрометеорологических процессов различных пространственно-временных масштабов, наблюдающихся в последние десятилетия в Арктическом бассейне Северного Ледовитого океана (СЛО), позволяют судить о современном состоянии и дальнейшем развитии глобальной климатической системы. Данных, получаемых различными контактными методами для изучения этих изменений, недостаточно. В связи с этим, важной задачей современных полярных исследований является применение спутниковой информации для мониторинга различных гидрологических характеристик и ее использование в прогностических и диагностических моделях. Основными преимуществами данных дистанционного зондирования (ДДЗ) над контактными методами является их относительная доступность, оперативность, высокое пространственное и временное разрешение. К факторам, затрудняющим применение части ДДЗ в Арктическом бассейне, можно отнести сезонные ограничения, связанные с распределением ледяного покрова и освещенностью поверхности моря, а также частым экраным эффектом облачности.

Температура поверхности океана

Одним из важнейших гидрологических параметров является температура воды. На сегодняшнем этапе развития космической океанологии спутниковые методы позволяют получать только данные распределения температуры поверхности океана (ТПО). Но уже сейчас существуют модели, позволяющие на основе данных дистанционного зондирования рассчитывать вертикальное распределение этой характеристики.

Первый спутник серии *TIROS-N* агентства *NOAA*, несущий на себе радиометр *AVHRR*, измеряющий ТПО в инфракрасном (ИК) диапазоне, был запущен еще в 1978 году [<http://ngdc.noaa.gov>]. Наиболее широкое использование методов получения ТПО из космоса начинается с 1990-х годов. На данный момент наилучшие ИК-данные по ТПО предоставляются радиометрами *MODIS* (спутники *Aqua* и *Terra*) и *AVHRR/3*.

Огромным достижением в развитии данного направления спутниковой океанологии стала возможность использования приборов, измеряющих ТПО в микроволновой части спектра (спутник *TRMM* с камерой *TMI* (1997 г.) [<http://trmm.gsfc.nasa.gov>], спутник *Aqua* с радиометром *AMSR-E* (2002 г.)).

Каждый из двух методов измерения ТПО имеет свои недостатки. Для инфракрасного излучения непреодолимой преградой является облачность любого типа, что не позволяет получать данные о ТПО в районах закрытых облаками. Также определенную негативную роль играет наличие в атмосфере различных аэрозолей, газов, водяного пара и состояние водной поверхности.

При сканировании морской поверхности в микроволновом диапазоне важную роль играют различные атмосферные явления, такие как осадки, сильный ветер, некоторые виды облачности, которые могут приводить к существенным ошибкам при измерении ТПО. Из-за малого разрешения снимка становится невозможным качественное определение ТПО вблизи берегов и кромки льда.

ИК и микроволновое излучения проникают под водную поверхность только на глубину порядка 1 мм, что также влияет на точность значений ТПО из-за наличия скин-слоя.

В общем случае на качестве спутниковой информации сильно сказываются угол сканирования камеры, положение конкретного пиксела на снимке, наличие солнечных бликов.

Пространственное разрешение данных, получаемых с ИК и микроволновых радиометров, очень отличается. Для ИК-камер оно достигает 1 км, для микроволновых радиометров

– 50 км. Поэтому, при решении различных задач необходимо учитывать особенности этих методов измерения ТПО. Также, в некоторых случаях, возможно совместное использование данных, полученных как в инфракрасном, так и микроволновом диапазонах. Технические характеристики и точность измерения различных космических аппаратов и измерительных приборов представлены в таблице 1 [<http://gis-lab.info/projects/ss/ss.html>], (Гарбук, Гершензон, 1997).

Таблица 1. Технические характеристики спутников и приборов, измеряющих ТПО

Спутник	Запуск спутника	Высота орбиты (км)	Наклон орбиты	Повторяемость (сут.)	Область покрытия	Прибор	Диапазон измерений	Спектральные каналы (средняя длина волны)	Точность измерения ТПО	Пространственное разрешение (км)
<i>TIROS-N, NOAA-6,8,10</i>	19.10.1978	833 - 870	-98,7°	~4,25	90° S - 90° N	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR-1)</i>	инфракрасный	3,74; 11,0 мкм	0,5-0,75°С	1,1
<i>NOAA-7,9,11,12,14</i>	23.06.1981	833 - 870	-98,7°	~4,25	90° S - 90° N	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR-2)</i>	инфракрасный	3,74; 10,8; 12,0 мкм	0,5-0,75°С	1,1
<i>NOAA-15,16,17,18,19, MetOp-A</i>	13.05.1998	833 - 870	-98,7°	~4,25	90° S - 90° N	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR-3)</i>	инфракрасный	3,74; 10,8; 12,0 мкм	0,5-0,75°С	1,1
<i>ERS-1</i>	17.07.1991	785	98,52°	3, 35, 68	82° S - 82° N	<i>Along Track Scanning Radiometer (ATSR)</i>	инфракрасный	3,7; 10,8; 12 мкм	0,3°С	1
<i>ERS-2</i>	21.04.1995	785	98,52°	35,00	82° S - 82° N	<i>Along Track Scanning Radiometer (ATSR-2)</i>	инфракрасный	3,7; 10,8; 12 мкм	0,3°С	1
<i>ENVISAT</i>	01.03.2002	800	98,55°	35,00	82° S - 82° N	<i>Advanced Along Track Scanning Radiometer (AATSR)</i>	инфракрасный	3,7; 10,8; 12 мкм	<0,3°С	1
<i>TERRA, AQUA</i>	18.12.1999	705	98,2°	16,00	90° S - 90° N	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)</i>	инфракрасный	3,75; 3,959; 4,05; 11,03; 12,02 мкм	0,3-0,5°С	1
<i>AQUA</i>	04.05.2002	705	98,2°	16,00	90° S - 90° N	<i>Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E)</i>	микроволны	6,9; 10,65 Пч	0,5°С	38, 56
<i>METOP-M</i>	17.09.2010	830	98,72°	-	90° S - 90° N	<i>Многоканальный сканирующий прибор с малым разрешением (МСУ-МР)</i>	инфракрасный	3,8; 11; 12 мкм	в процессе валидации	1

Возможность получения данных о ТПО по всей акватории Северного Ледовитого океана зависит от распространения ледяного покрова. Площадь, освещенная информацией, ограничена районами чистой воды, т. е. для областей, покрытых льдом, данные отсутствуют.

Достаточно большое количество результатов обработки измерений ТПО со спутников находятся в свободном доступе, как в цифровой форме, так и в виде изображений в сети Интернет. Для оценки возможности использования таких результатов обработки был проведен сравнительный анализ данных о ТПО, полученных *CTD*-зондированием (зонд *SBE-19 plus*) в экспедиции «*БАРКАЛАВ-2008*», организованной в рамках Международного Полярного года (МПГ), и со спутника *AQUA* камерой *AMSR-E*. На рис. 1 представлены карты распределения ТПО для полигонов в Карском море и море Лаптевых. Для построения этих карт использовались данные в цифровой форме (сайт ftp://podaac.jpl.nasa.gov/pub/GHRSST/data/L2P_GRIDDED/AMSRE/).

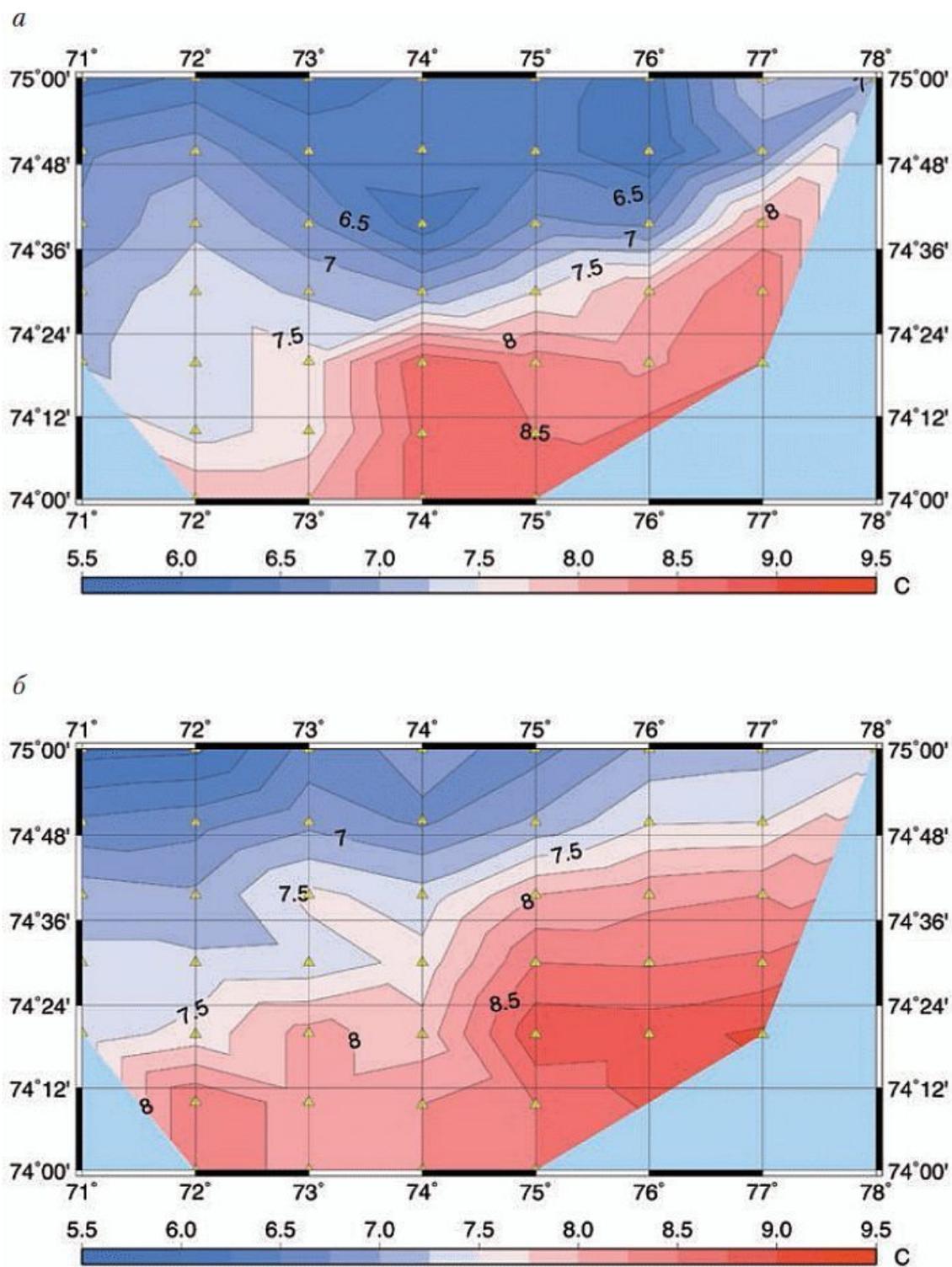
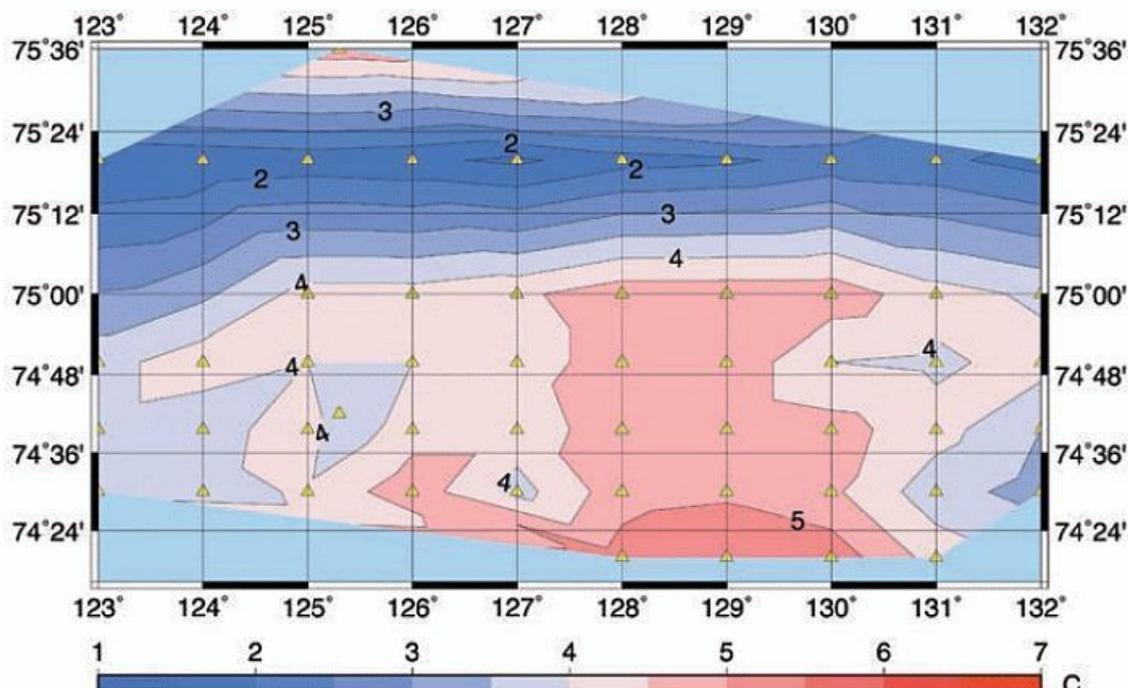


Рис. 1. Карты распределения ТПО: на полигоне в Карском море (а, б) (август 2000 года), на полигоне в море Лаптевых (в, г) (сентябрь 2000 года); а, в) – по данным STD-зондирования; б), г) – по данным спутниковых измерений

в



г

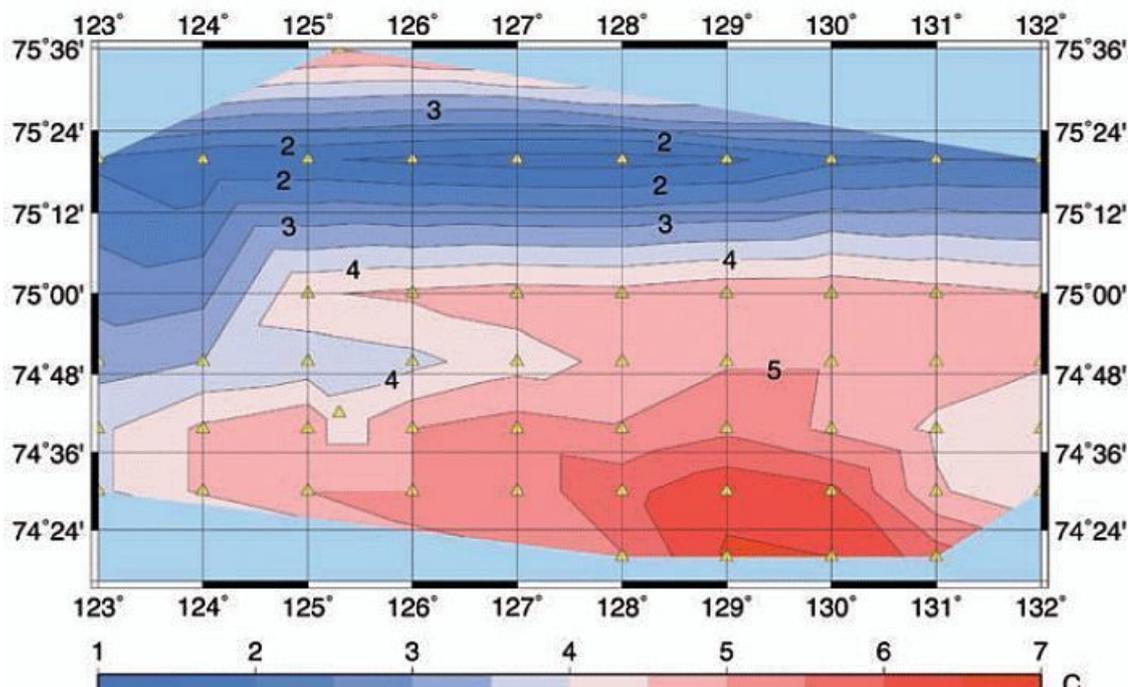


Рис. 1 (продолжение). Карты распределения ТПО: на полигоне в Карском море (а, б) (август 2008 года), на полигоне в море Лаптевых (в, г) (сентябрь 2008 года); а, в) – по данным STD-зондирования; б), г) – по данным спутниковых измерений

Положение фронтальных зон на полигонах хорошо согласуется друг с другом. Расхождения в значениях ТПО лежат в пределах ошибки измерения спутника. Коэффициент корреляции достигает 0,9. Необходимо отметить наличие систематической ошибки: данные дистанционного зондирования превышают значения ТПО, полученные контактными методами

примерно на 0,2 °С. Наличие такой ошибки может быть связано с несовершенством методики обработки спутниковых измерений для СЛО. Такие методики разрабатываются и модернизируются на основе натуральных данных, преимущественно полученных для тропических районов. Для большинства же районов акватории СЛО область покрытия регулярными измерениями мала по сравнению с другими областями Мирового океана, что, возможно, и приводит к наличию систематической ошибки в значениях ТПО. Поэтому данные, полученные в экспедициях «БАРКАЛАВ–2007» и «БАРКАЛАВ–2008», организованные в рамках МПГ, можно рассматривать как подспутниковый эксперимент, проведенный на акватории СЛО. Подробные площадные съемки Карского моря и моря Лаптевых дают возможность использовать эти данные для усовершенствования методик обработки спутниковой информации о ТПО для Арктического бассейна.

Таким образом, на основе данных дистанционного зондирования можно получать оперативную информацию о положении температурных фронтов, об их изменчивости в пределах различных временных масштабов. Использование абсолютных значений ТПО для акватории СЛО требует усовершенствования методов обработки результатов спутниковых измерений.

Уровень океана

При исследовании динамических процессов важной характеристикой является уровень океана. В настоящее время существует очень мало измерений этой характеристики на открытой акватории СЛО. С развитием спутниковой океанологии появилась возможность получать в реальном времени данные о динамической топографии океана, что открыло широчайшие перспективы в исследовании динамики морей и океанов.

Изначально задачей альтиметрии являлось уточнение формы геоида и гравитационной модели Земли. Первые спутники (*Skylab*, *Geos*, *Seasat*), несущие на себе альтиметры, были запущены в США в 1970-х годах. Широкое внедрение спутниковой альтиметрии началось в 1990-х годах, когда были запущены два европейских космических аппарата *ERS-1* и *ERS-2* и спутник *Topex/Poseidon*, созданный в рамках франко-американского проекта для изучения циркуляции Мирового океана. Для продолжения миссии *Topex/Poseidon* в 2001 г. был запущен новый спутник *Jason-1*, а в 2008 г. – спутник *Jason-2* (Фукс, Блошкина, 2007). Технические характеристики спутников и приборов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Технические характеристики спутников и альтиметров

Спутник	Начало работ	Высота орбиты, (км)	Наклон орбиты (град)	Повторяемость (сут)	Область покрытия	Прибор	Диапазон измерений	Длина волны (см)	Точность (см)	Простр. разреш. (км)
<i>TOPEX/Poseidon</i>	10.08.1992	1336	66	9,92	66° S – 66° N	<i>NASA Radar Altimeter</i>	микроволны	2; 5	3,3	5
<i>TOPEX/Poseidon</i>	10.08.1992	1336	66	9,92	66° S – 66° N	<i>Poseidon-1 (SSALT)</i>	микроволны	2	4,0	6
<i>Jason - 1</i>	07.12.2001	1336	66	9,92	66° S – 66° N	<i>Poseidon-2 (SSALT)</i>	микроволны	2; 5	< 10	6
<i>Jason - 2</i>	20.06.2008	1336	66	9,92	66° S – 66° N	<i>Poseidon-3 (SSALT)</i>	микроволны	2; 5	< 10	6
<i>GFO</i>	10.02.1998	800	108	17	72° S – 72° N	<i>Radar Altimeter - RA</i>	микроволны	5	3,5	7
<i>ERS - 1</i>	17.07.1991	785	98,52	3,35; 168	82° S – 82° N	<i>Radar Altimeter – RA</i>	микроволны	2	< 10	7
<i>ERS - 2</i>	21.04.1995	785	98,52	35	82° S – 82° N	<i>Radar Altimeter – RA</i>	микроволны	2	< 10	7
<i>ENVISAT</i>	01.03.2002	800	98,55	35	82° S – 82° N	<i>Radar Altimeter 2 - RA-2</i>	микроволны	2	< 10	7

Первые спутниковые альтиметры имели точность около 1 м, а более современные альтиметры позволяют измерять уровень океана с точностью 2–3 см, с пространственным разрешением 5–6 км и периодичностью 3–35 суток. Основное ограничение точности измерений спутниковой альтиметрии определяется параметрами горизонтального разрешения при сканировании поверхности океана, высокой скоростью движения спутника и неполнотой знаний об изменении скорости распространения электромагнитных волн в различных слоях атмосферы. Полученные со спутника данные усваиваются в гидродинамической модели и пересчитываются в аномалии уровня в узлах регулярной сетки (*Лебедев, Костяной, 2005*). Карты аномалий уровня и данные в цифровом виде доступны в сети Интернет. Продукты обработки спутниковой альтиметрии по уровню океана можно разбить на две группы:

- вдольтрековые;
- результат пространственно-временной интерполяции измерений в узлы регулярной сетки.

Чаще всего для проведения пространственно-временной интерполяции одновременно анализируются данные с максимально возможного количества спутников, что позволяет уменьшить ошибки. На рис. 2 представлена область покрытия такими данными акватории СЛЮ за 1 августа 2007 г. Для построения карт были использованы данные в цифровом виде с сайта AVISO (<http://www.aviso.oceanobs.com/>).

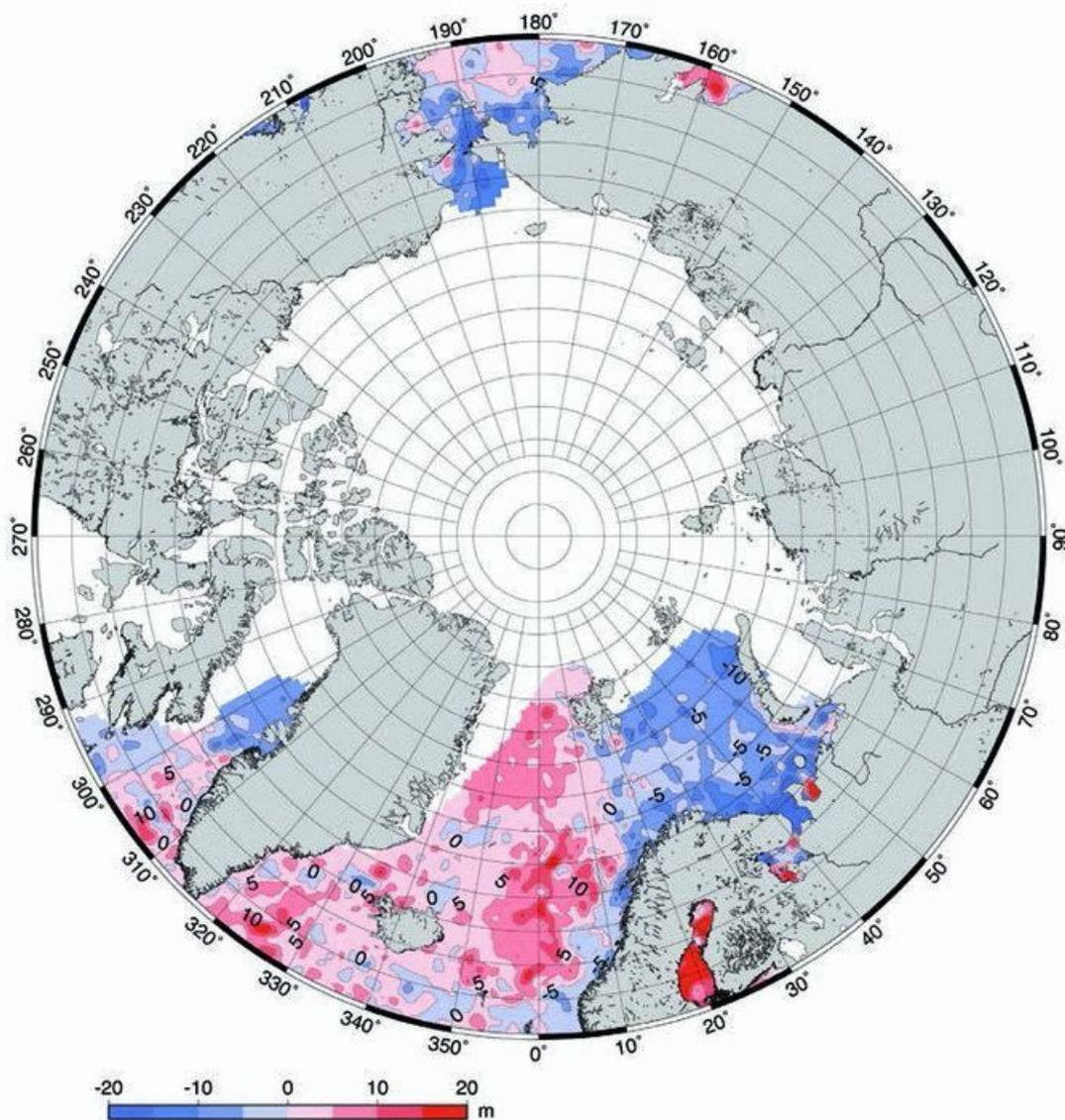


Рис. 2. Карта распределения аномалий уровня для некоторых регионов СЛО, 1 августа 2007 г.

Как видно из рис. 2, большая часть акватории СЛО не освещена информацией, что скорее всего связано с особенностями обработки материалов измерений. Для получения информации для таких районов необходима работа с первичными снимками или вдольтрековыми данными. Также следует отметить, что точность данных в прибрежных зонах недостаточно высока и требует дополнительной верификации.

Сравнение альтиметрических измерений для акватории СЛО с фактическими значениями уровня сделать сложно из-за отсутствия данных непосредственных измерений уровня моря в областях покрытия данных.

На основе результатов обработки спутниковой альтиметрии можно получать оперативную информацию о динамических фронтах, их движении и трансформации в пределах различных пространственно-временных масштабов только для определенных районов СЛО. Для использования измерений в прибрежных зонах необходима разработка методов адаптации данных применительно к этим районам морей. Освещение остальных областей СЛО требует привлечения первичных снимков и вдольтрековых данных.

Спутниковые данные и ветровое волнение

В арктических морях практически отсутствуют контактные инструментальные измерения параметров ветрового волнения на регулярной основе. В связи с этим представляется интересным и нужным использовать для изучения режима ветрового волнения, оценки модельных расчетов и прогнозов данные альтиметрических измерений спутников. В настоящее время существующие системы архивации, проверки и интерпретации результатов спутниковой альтиметрии свободно доступны на портале (AVISO, 2010). Система использует данные действующих в настоящее время альтиметров космических спутников *Jason-1* и *Jason-2*, *Envisat*, *ERS-2* (табл. 2) и *CryoSat-2*. Полученные спутниковые данные о высоте волн и скорости ветра могут использоваться совместно с данными численного моделирования ветрового волнения для верификации моделей ветрового волнения и ассимиляции (усвоения) данных спутниковых наблюдений в оперативных прогнозах ветрового волнения.

1. Верификация моделей ветрового волнения по данным спутниковых измерений

Для верификации была использована модель ветрового волнения ААНИИ (Лавренов, 1998; Давидан и др., 2010; Дымов и др., 2004), по которой было выполнено более 900 ежедневных прогнозов с января 2008 г. по июль 2010 г. Результаты прогнозов были сопоставлены со спутниковыми данными измерений высот волн в 10-ти точках акватории арктических морей за безледный период. На рис. 3 и 4 приведены примеры пространственного распределения высот волн и сезонный ход синхронных модельных и спутниковых данных в одной из точек, расположенной на акватории Баренцева моря.

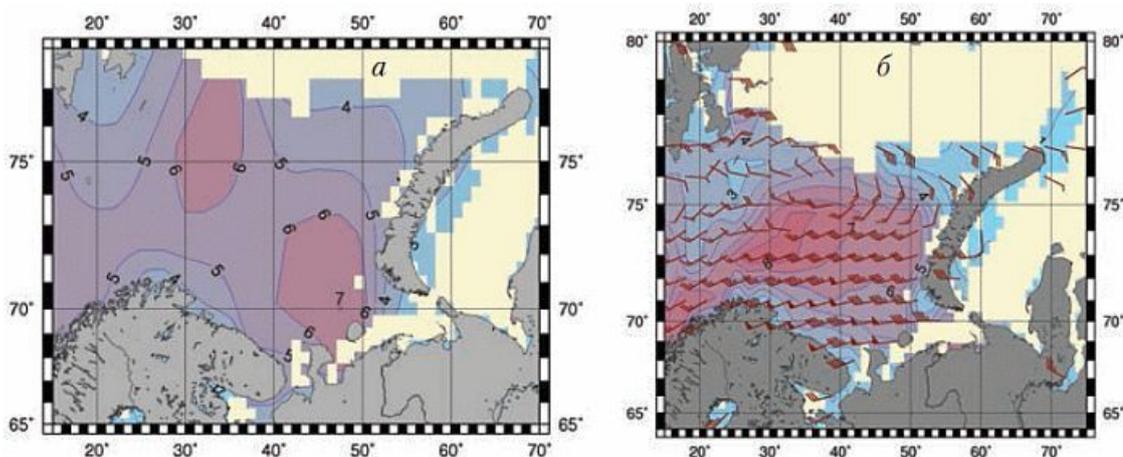


Рис. 3. Поле высот волн на 00 ч. UTC 27 января 2010 г.: а) – по спутниковым данным AVISO; б) – по модели ААНИИ

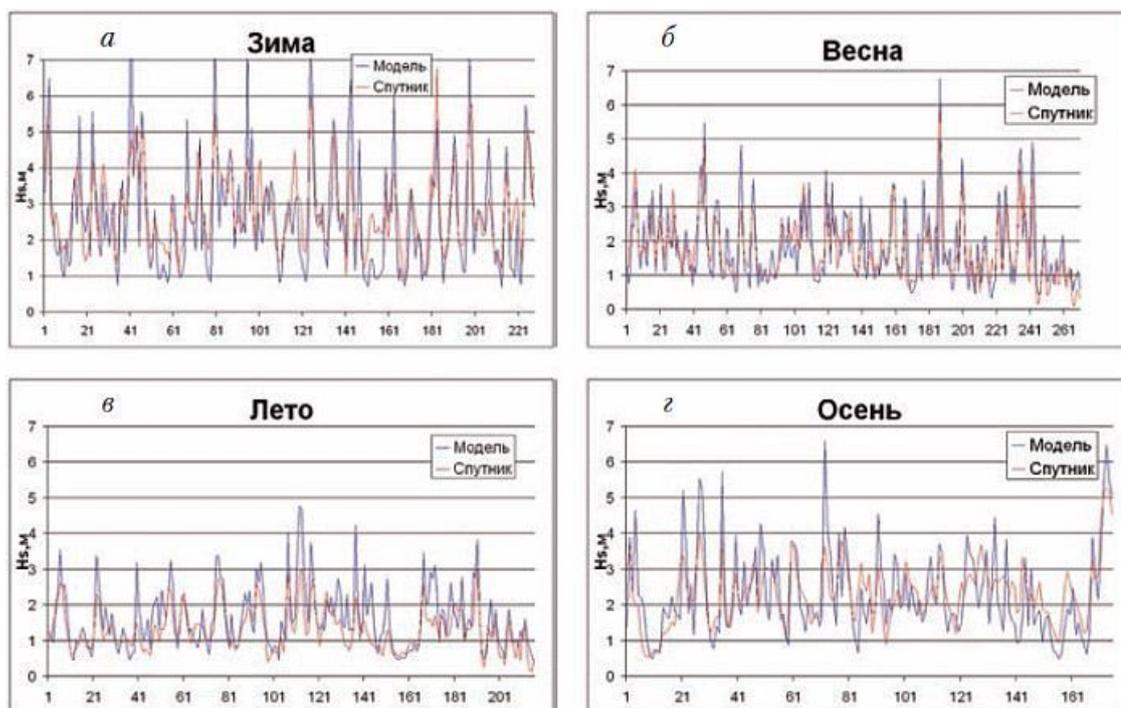


Рис. 4. Сопоставление по сезонам (2008–2010 гг.) синхронных модельных и инструментальных данных значительных высот волн H_s в точке 74° с.ш. 39° в.д. (Баренцево море). а) – зима, б) – весна, в) – лето, г) – осень

Анализ результатов показал, что качество спутниковых данных в гридированном виде (сильно сглаженные данные в сетке 1° с временным шагом 24 часа) в настоящее время оставляет желать лучшего. Использование спутниковых данных для оценки качества прогнозов волнения по модели ААНИИ показало, что оправдываемость прогнозов составила на первые сутки – 71 %, на вторые – 70 %, на третьи – 68 %, что в целом укладывается в диапазон оценок, определенных требованиями Наставления по службе прогнозов (1982).

По результатам проведенных испытаний метод прогноза ветрового волнения в арктических морях был рекомендован для внедрения в оперативную работу Гидрометцентра России и ААНИИ (решение ЦМКП Росгидромета от 10 ноября 2010 № 140-5281).

2. Ассимиляция (усвоение) данных спутниковых наблюдений в оперативных прогнозах ветрового волнения

Прогностическое поле ветрового волнения можно рассчитать только с помощью методов математического моделирования. Однако модельную оценку уже имевших место прогнозов полей ветрового волнения и текущего прогноза можно улучшить с помощью данных наблюдений за волнением. Эти данные важны и для проверки существующих представлений о физике процесса, и для верификации результатов модельных расчетов. Современные зарубежные модели ветрового волнения (*Wave Watch III*, *WAM*) в прогностических целях уже давно (с 1980-х годов) применяют усвоение инструментальных данных наблюдений над волнением, но это относится в первую очередь к данным измерений, выполненных с заякоренных буёв.

Современные спутники обеспечивают продолжительные серии наблюдений, однако попытки усвоения спутниковых данных *AVISO* о высоте волн показали, что гридированные данные, собранные за двое суток, совсем не годятся для оперативной ассимиляции. Это заключение подтверждается примером необычно сильного шторма в Баренцевом море в летний

период 2010 года. В качестве примера на рис. 5 приводятся поля ветрового волнения, восстановленные по различным моделям и спутниковым данным AVISO, из которых видно, что по спутниковым данным (рис. 5 а) высоты ветрового волнения значительно занижены по сравнению с тремя модельными полями высот волн, представленными на рис. 5 б, 5 в и 5 г.

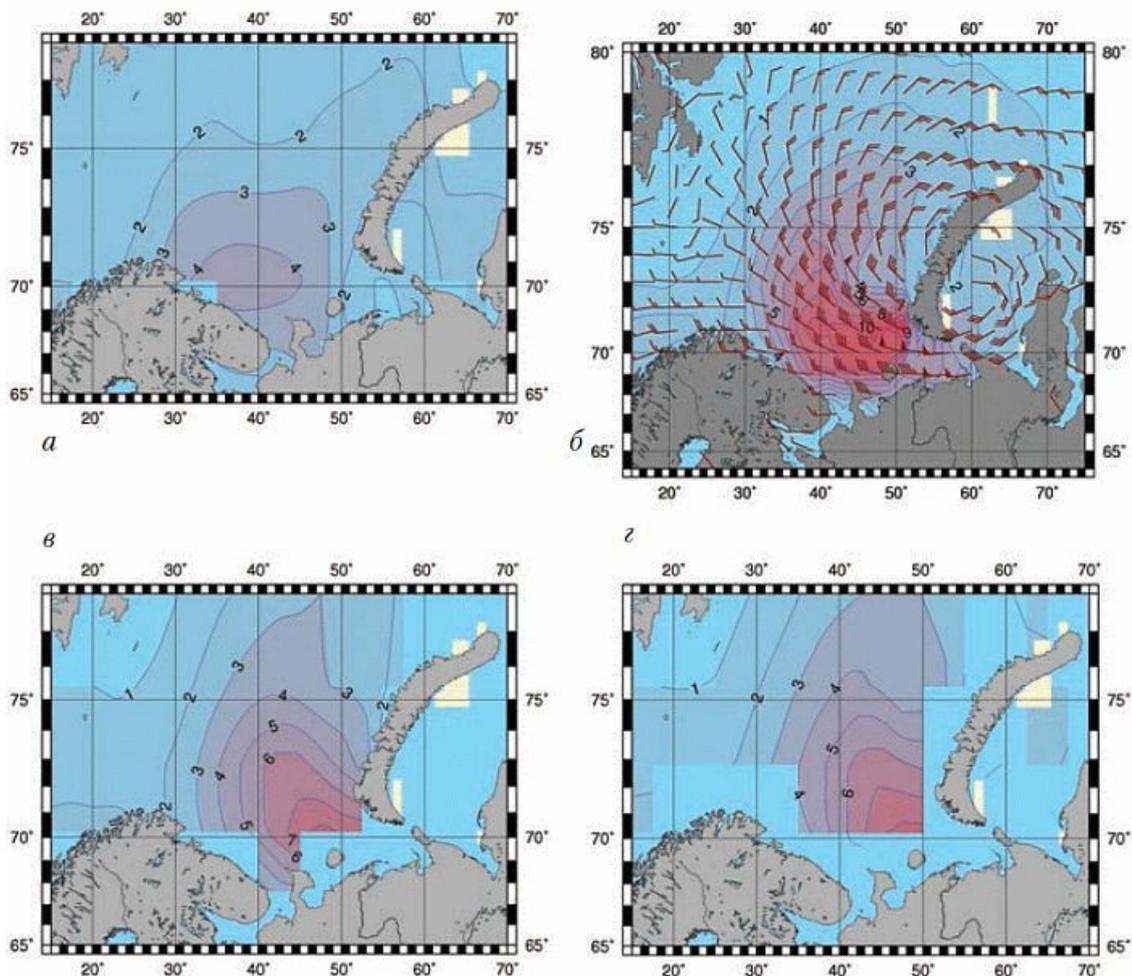


Рис. 5. Сопоставление полей высот волн по различным моделям и данным спутниковым измерением AVISO на 24 июля 2010 года: а) – спутниковые данные AVISO на 00 часов; б) – модель AARI-PD2 на 06 часов; в) – модель WaveWatch III на 06 часов; г) – модель WAM на 06 часов

Усвоение сырых (трековых) спутниковых данных AVISO, имеющих пространственную и временную привязку, представляет собой еще более сложную задачу. Эта задача требует значительных усилий, связанных с увеличением вычислительной мощности расчетных серверов и серверов обработки этих данных.

Динамические структуры на поверхности океана и радиолокаторы с синтезированной апертурой

Радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), установленные на борту космических спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), уже длительное время используются в мировой практике для наблюдения за различными важными метеорологическими и океанографическими явлениями. В области метеорологии это наблюдения за атмосферными

вихрями, атмосферными гравитационными волнами и фронтами, областями выпадения осадков, полями ветра. В океанографии это отдельные вихри, диполи, гидрологические фронты, внутренние волны, течения, явление апвеллинга, батиметрия прибрежных областей, стоковые выносы рек, загрязнения поверхности моря естественного и искусственного характера, морские льды. Спутниковые РСА также позволяют осуществлять слежение и контроль за перемещением морских транспортных средств, поиск и обнаружение новых подводных месторождений нефти.

Применяемый в РСА физический метод *наблюдения за тем или иным природным явлением* основан на анализе отражённого поверхностью моря активного сигнала прибора с длиной волны от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Поверхностный микрослой (до 200–300 мкм) моря имеет собственные физико-химические характеристики, отличающие его от остальной части поверхностных вод, и содержит, в частности, большое количество органических веществ. Поля фито- и зоопланктона, продукты жизнедеятельности морских организмов, речные и сточные воды, сбросы балластных и технических вод судами, естественные выбросы подводных нефтяных месторождений насыщают морские воды органическими поверхностно-активными веществами (ПАВ), способными менять поверхностное натяжение микрослоя. В свою очередь, изменение величины поверхностного натяжения на большой площади морской поверхности обуславливает изменение её степени сглаженности или шероховатости и лимитирует развитие капиллярных волн, что и определяет отражающую способность поверхности и интенсивность отражённого сигнала РСА.

Кроме того, в поверхностном слое океана наблюдаются специфические физические явления, способствующие лучшему отображению на снимках РСА морских динамических структур, таких как, например, солениды вертикальной циркуляции Ленгмюра (*Sole et al., 2000*), образующих на поверхности моря линии дивергенции и конвергенции. На снимках РСА подобные области отображаются как совокупность параллельных светлых и тёмных полос или линий, трансформированных под действием внешних факторов и принимающих форму обуславливающих их динамических структур (океанические вихри, ринги, меандры поверхностных течений и др.). Таким образом, резюмируя, можно сказать, что снимки РСА отображают не сами природные явления, а их проявления (следы) на морской поверхности (рис. 6).

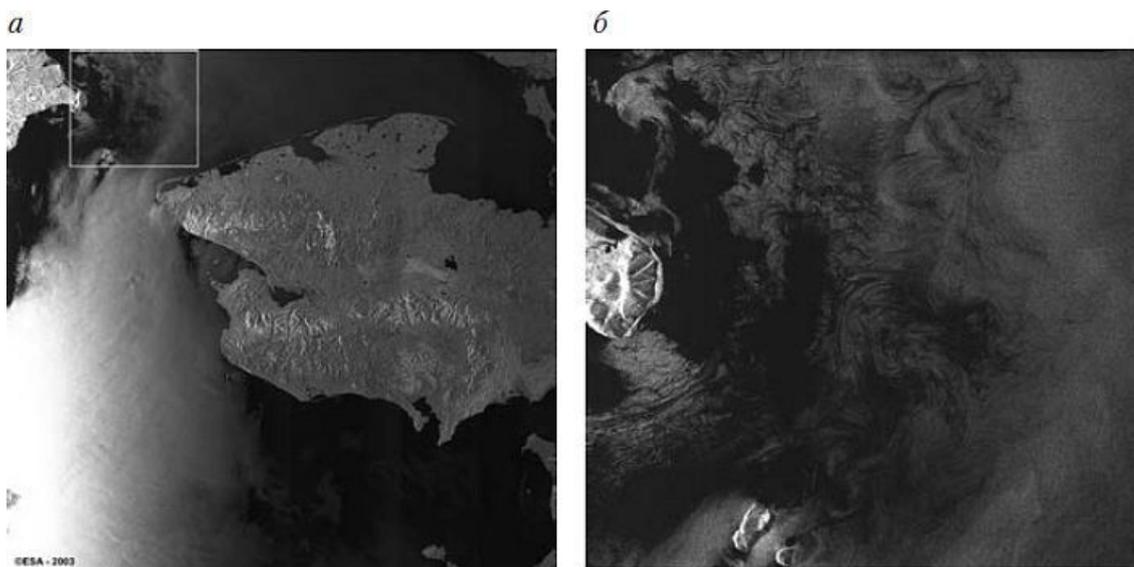


Рис. 6. Изображение района Берингова пролива, выполненное спутником ENVISAT 22 июня 2003 г.: а) – снимок 400×400 км ASAR, координаты центра снимка: 66,15° с.ш. и 166,25° з.д. Светлая часть снимка соответствует зоне интенсивного ветрового волнения; б) – увеличен-

ный фрагмент снимка. На морской поверхности наблюдается сложная система тёмных спиралевидных структур, обусловленная динамическими процессами в прибрежной зоне

В случае наблюдения океанских вихрей и диполей (диаметром от сотен метров до десятков километров) (рис. 7) можно определить их пространственные геометрические характеристики, а при наличии ряда последовательных снимков определить траекторию и скорость смещения, составить карту пространственного распределения и отобразить картину их пространственно-временной повторяемости (Кровотыщев и др, 2009 г.).



Рис. 7. Изображение района бухты Маргариты (западная часть Антарктического полуострова), выполненное спутником ENVISAT 18 марта 2002 г. В центре снимка на тёмном фоне чистой воды и светлого однолетнего дрейфующего льда обнаруживается диполь, состоящий из двух вихрей циклонической и антициклонической направленности вращения, диаметр каждого из которых составляет около 25 км

В центре снимка на тёмном фоне чистой воды и светлого однолетнего дрейфующего льда обнаруживается диполь, состоящий из двух вихрей циклонической и антициклонической направленности вращения, диаметр каждого из которых составляет около 25 км.

При обнаружении внутренних волн на снимке РСА можно определить направление распространения пакета волн, длину фронта ведущей волны, протяжённость пакета, количество

волн в пакете, их максимальную и минимальную длину. При наличии достаточной серии периодических снимков одного и того же района можно сделать статистический анализ различных параметров внутренних волн, составить схему их пространственно-временного распределения (Митягина, Лаврова. 2009 г.).

Ещё одна область применения РСА – мониторинг загрязнений поверхности моря ПАВ. Загрязнения могут быть естественного и искусственного характера. К первым относятся, например, выбросы подводных месторождений нефти, обусловленные тектоническими напряжениями и сейсмической активностью. Вторые ассоциируются, в первую очередь, с производственной деятельностью человека и сбросом загрязнённых промышленных вод в реки, которые и транспортируют ПАВ и другие вредные вещества в море. В результате аварий или технических работ нефтесодержащие жидкости попадают в море с нефтяных платформ, нефтепроводов, танкеров и оставляют на поверхности характерные следы «пятен» или вытянутых шлейфов плёнок ПАВ. Снимки РСА позволяют обнаружить эти «пятна» и шлейфы и в некоторых случаях даже определить источник загрязнения с помощью «обратного моделирования» траектории их дрейфа.

К основным достоинствам РСА можно отнести высокую разрешающую способность снимков, независимость их качества от степени солнечной освещённости подстилающей поверхности и наличия облачности, а также широкую полосу непрерывного наблюдения (до 500 км). В настоящее время комбинация снимков трёх-четырёх различных спутников, оснащённых РСА, позволяет практически каждый день получать изображение заданного полярного района.

Российская Федерация на данный момент не имеет космических аппаратов ДЗЗ, имеющих на борту действующие РСА. В прошлом такие отечественные спутники были (например, Океан-К) и их снимки хранятся в фондах Центра космических данных (ЦКД) НПО «Планета». До конца 2015 года на орбиту планируется вывести четыре российских спутника серии «Метеор», включая один океанографический. В состав его бортовой аппаратуры будет входить многорежимный радиолокационный комплекс X-диапазона. Кроме того, планируется создание космической системы «Арктика», предназначенной для непрерывных наблюдений за арктическим регионом, в состав которой будут входить два спутника радиолокационного наблюдения на приполярных орбитах.

Представляется целесообразным использовать снимки РСА для исследований динамики поверхности моря в сочетании и дополнении со снимками других космических аппаратов. Так, в настоящее время на орбите находится большое количество оптических сканеров, которые также потенциально можно использовать для исследования поверхностных явлений океана посредством модуляции шероховатости морской поверхности. В работе (Мясоедов, Кудрявцев, 2009 г.) предложен метод восстановления шероховатости морской поверхности и ее пространственных вариаций по изображениям поверхности океана в области солнечного блика, получаемых с оптических сканеров из космоса (*MODIS*, *MERIS* и др.).

Заключение

Комплексное использование данных различных приборов спутникового наблюдения (активного радара, пассивных приёмников в инфракрасном и оптическом спектре и др.) при определённых гидрометеорологических условиях даёт уникальную возможность получить представление о мезомасштабных метеорологических и океанографических явлениях: ТПО, положении уровня поверхности, волнении, поверхностных динамических структурах в морях СЛО, определить их качественные, количественные и, при наличии достаточного количества снимков, статистические характеристики. В сочетании с натурными подспутниковыми калибровочными и контрольными наблюдениями *in situ*,

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.