

лучевого эхолота и профилографа донных отложений. Океанологи, геологи, гидробиологи и метеорологи, работавшие на борту судна, также получили новые сведения о состоянии индоокеанского сектора Южного океана с использованием современных приборных средств наблюдений.

Меньший объем научных исследований, выполненных по программе 59-й сезонной РАЭ НЭС «Академик Трешников», по сравнению с объемом научных работ, проведенных НЭС «Академик Федоров», был предопределен менее продолжительным периодом рейса первого, особенностями его маршрута и географическим расположением объектов исследований. В то же время новые данные, полученные в рейсе НЭС «Академик Трешников», серьезно обогатили отечественные знания о структуре и изменчивости природных сред Антарктики. Благо-



НЭС «Академик Трешников» у побережья Антарктиды.
Фото из архива ААНИИ.

даря проведенным работам появилась возможность по-новому оценить общеизвестные гидрометеорологические и гидрографические особенности исследованных районов, данные о которых были получены ранее с помощью средств измерительной техники конца XX века.

В дальнейшем, после разгрузки судна и проведения межрейсового ремонта, НЭС «Академик Трешников» планирует осуществить свой первый арктический научно-исследовательский

рейс, связанный с обеспечением необходимыми научными данными отечественных работ по добыче углеводородного сырья на арктическом шельфе сибирских морей.

В.В. Лукин (ААНИИ)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В СОВМЕСТНОЙ РОССИЙСКО-ГЕРМАНСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ «ЛАПЭКС-2013/ТРАНСДРИФТ-XXI» В АВГУСТЕ–СЕНТЯБРЕ 2013 г.

Введение

Более двадцати лет в море Лаптевых ежегодно проводятся морские экспедиции в рамках российско-германской программы «Система моря Лаптевых». Последней из них по времени была экспедиция «ЛАПЭКС-2013/ТРАНСДРИФТ-XXI» на борту НИС «Виктор Буйницкий».

В ходе экспедиции планировалось получить комплексную количественную информацию о состоянии природной системы моря Лаптевых, для чего следовало: выполнить исследования океанографических, гидрохимических, биологических условий в южной части моря в районе фронтальной зоны между речными и морскими водами, а также получить сведения о горизонтальных и вертикальных потоках тепла, соли, примеси в различных условиях плотностной стратификации и рельефа морского дна. В планы экспедиции входили и работы по поднятию припопленных буйковых станций (ПБС), данные которых позволили бы получить сведения о годовых изменениях океанографических условий (скорости течений, температура и соленость) в области расположения Ленской полыньи и в северной части моря.

Оборудование и выполненные работы

Для достижения поставленных перед экспедицией целей был выполнен большой объем работы. В период с 5 по 17 сентября 2013 г. в море Лаптевых было сделано 20 океанографических станций, из них 18 комплексных. На комплексных станциях выполнялось СТД-зондирование водной толщи (53 профиля), отбор проб воды на растворенный кислород (207 проб), биогенные элементы (352 пробы), на содержание химических трассеров (238

проб). Отобраны пробы воды для определения содержания хлорофилла-«а» (192 пробы), растворенного органического вещества (34 пробы), фитопланктона на отдельных горизонтах (118 проб). Также на станциях проводились сетевые ловы фито- и зоопланктона (33 и 74 пробы). Отобрано 18 проб донных биоценозов.

Силами штурманского состава судна в рейсе в период с 28 августа по 17 сентября выполнялись метеорологические наблюдения с применением судовой метеостанции, барометра-анероида и визуально. Измерения производились ежедневно в 12:00 МСК, при круглосуточном выполнении работ дополнительно в 00:00 МСК, а также на момент начала работ на океанографических станциях. Выполнено 52 наблюдения за атмосферным давлением, скоростью и направлением ветра, температурой воздуха и 23 наблюдения за количеством и формами облаков.

Для выполнения комплексных океанографических станций использовалось современное оборудование. Зондирования толщи морских вод проводились с применением комплекса SBE 32C производства Sea-Bird Electronics, Inc., США, включающего в себя: розетку, устройство для автоматического закрывания батометров на заданных горизонтах Carousel Auto-Fire Module (AFM), устройство для крепления 12 батометров емкостью 2,5 л, два СТД-профилографа температуры и электропроводности SBE 19 plus, также производства Sea-Bird Electronics, и дата-логгер. Кроме названных параметров, один из профилографов SBE 19 plus позволял получить вертикальные профили мутности и флуоресценции фитопланктона. С применением батометров на стандартных горизонтах были отобраны пробы для проведения последующего анализа гидрохими-

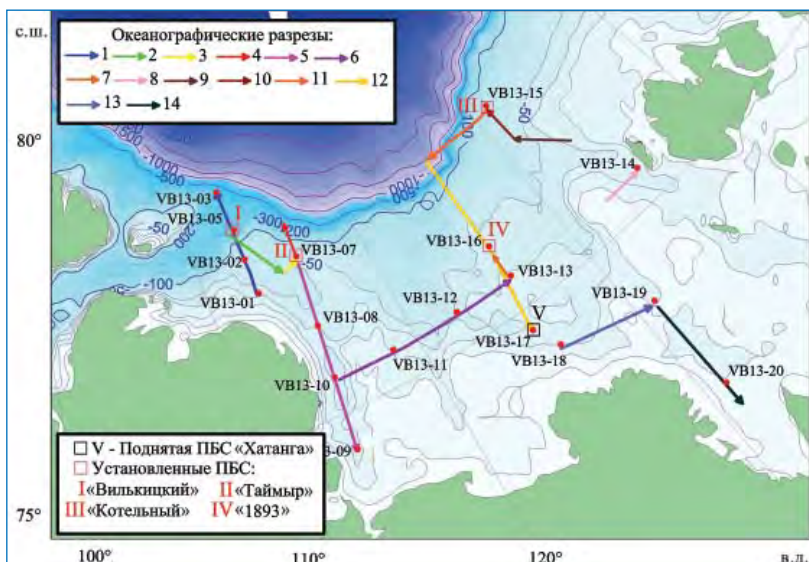


Рис. 1. Схема станций, выполненных в рамках экспедиции ЛАПЭКС-2013/ТРАНСДРИФТ-XXI

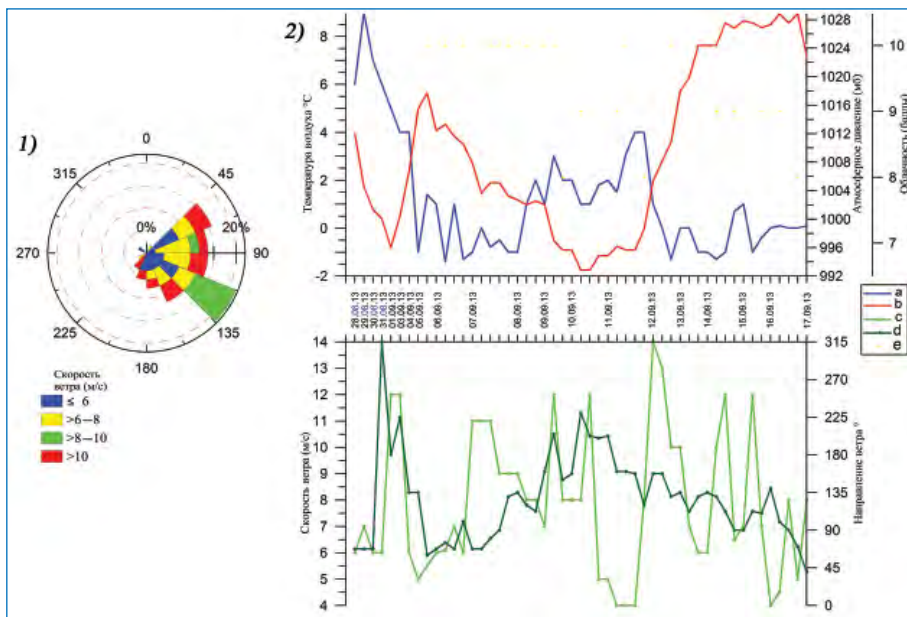
Синими точками отмечено положение океанографических станций, красные квадраты – положение установленных ПБС. Цветом выделены океанографические разрезы, выполненные с применением свободно падающего STD-сенсора.

ческих параметров (растворенный кислород, фосфаты, силикаты) и для гидробиологических исследований: содержание фитопланктона в пробах на горизонтах, растворенного органического вещества, для выполнения анализов на содержание изотопов кислорода и ниобия. Ввиду значительного количества отбираемых проб, их отбор осуществлялся неоднократно.

Отбор проб фитопланктона выполнялся планктонными сетями Апштейна в слоях над и под пикноклином. Отдельно планктонными сетями выполнялись ловы зоопланктона.

Отбор проб грунта выполнялся с применением мультикорера, позволяющего получать до 12 стратифицированных проб грунта в верхнем слое толщиной до 30 см. В последнем случае производился отбор проб в целях исследования зоопланктона и последующего химического анализа.

Рис. 2. Повторяемость скорости и направления ветра по полурубмам (1) и временной ход температуры воздуха (а), атмосферного давления (b), скорости (c) и направления (d) ветра, облачности в баллах (e) (2).



Поскольку объем работ на океанографических станциях был весьма значительным, их продолжительность составляла в среднем 3 часа, в зависимости от глубины места и необходимости повторных отборов проб.

На переходах между станциями в ходе попутных наблюдений было выполнено 280 зондирований свободно падающим STD-сенсором “Underway CTD” (UCTD) производства компании OceanScience, США. Такие работы проделаны впервые в практике исследований в полярных регионах. Данный прибор дает возможность получать вертикальные профили температуры и солёности на ходу 8–10 узлов, что позволяет при отсутствии льда получать данные со значительной экономией времени при хорошем качестве измерений. С применением этого оборудования всего выполнено 15 разрезов различной протяженности. Схема расположения комплексных океанографических станций и разрезов, выполненных с применением UCTD, приведена на рис. 1.

16 сентября 2013 г. была поднята ПБС «Хатанга», установленная в 2011 г. в центре южной части моря. В результате обработки данных были получены двухгодичные ряды измерений скорости и направления течений, температуры, солёности, а также мутности морской воды. Были выполнены две неудачные попытки подъема тралением ПБС «Анабар», установленной в том же районе, что и ПБС «Хатанга», и ПБС “OSL4”, установленной в северо-западной части моря.

Успешно установлены четыре ПБС с океанографическим оборудованием: первой 7 сентября была установлена ПБС «Вилькицкий», далее 9 сентября «Таймыр», 14 и 15 сентября установлены ПБС «Котельный» и «1893». На данных ПБС устанавливались измерители температуры и электропроводности, а также в зависимости от места постановки – акустические доплеровские профилографы течений.

На ПБС «1893» впервые в практике исследований в данном регионе установлен автономный комплекс для отбора проб морской воды и взвесей RAS100 производства компании McLane Research Lab. Inc, США. Прибор отбирает пробы 1 раз в 7 дней в одну из сорока восьми 200 мл емкостей. На этой же ПБС установлен ледовый профилограф IPS5 с частотой излучения 2 Гц производства ASL Environmental Science, Канада. Измерения мутности выполняются гидрологическими зондами XR-420 CTTu и Concerto CTTu. Измерения концентрации хлорофилла и желтого вещества выполняются флуориметрами Eco Triplet и измерителями SubCtech с датчиками Eco Triplet.

Данное оборудование позволит получить информацию о временном ходе температуры,

солености на фиксированных горизонтах измерения в годовом цикле, а также об изменениях скорости и направления течений в слоях 20–200 м (в зависимости от измерителя) в течение года.

Метеорологические наблюдения

В целом синоптические условия в районе работ определялись перемещающимися областями пониженного давления, в том числе смещениями двухцентровых депрессий в периоды с 28 августа по 1 сентября и с 9 по 12 сентября и влиянием областей повышенного давления (барические гребни) после 12 сентября.

Температура воздуха в течение рейса изменялась в пределах от -1 до $+3^{\circ}\text{C}$, исключая 29 августа, когда температура поднялась до $+9^{\circ}\text{C}$. Минимальное значение $-1,4^{\circ}\text{C}$ наблюдалось 6 сентября (рис. 2). Атмосферное давление имело локальное повышение 6 сентября ($1017,7$ мб) и устойчиво повышенные значения с 14 до 16 сентября; минимум атмосферного давления был отмечен 10 сентября ($992,8$ мб). Кривые временного хода температуры воздуха и атмосферного давления имели обратные тенденции, т.е. температурный режим был обусловлен прохождением барических образований.

В целом в период рейса преобладал ветер восточных направлений в пределах $45-135^{\circ}$. Максимальные значения скорости ветра (рис. 2) были отмечены 12 сентября (14 м/с), минимальные – 11 и 16 сентября (4 м/с).

Гидрохимические наблюдения

Анализ распределения гидрохимических параметров, полученных на комплексных океанографических станциях показал, что область повышенных значений силикатов (около 800 мкг/л), растворенных в морской воде, находится на юго-востоке моря Лаптевых (восток, северо-восток дельты р. Лены) и формируется под воздействием речных вод, коррелирующая с областью пониженной солености ($6-10\%$). В целом содержание растворенных в морской воде силикатов с глубиной понижается, что видно, в частности, на рис. 3. Однако на глубине около 40 м севернее дельты р. Лены было отмечено повышение значений силикатов. Поскольку в данной области было отмечено повышение значений мутности морской воды, можно предположить, что повышенные значения силикатов определяются мелкодисперсными частицами грунта.

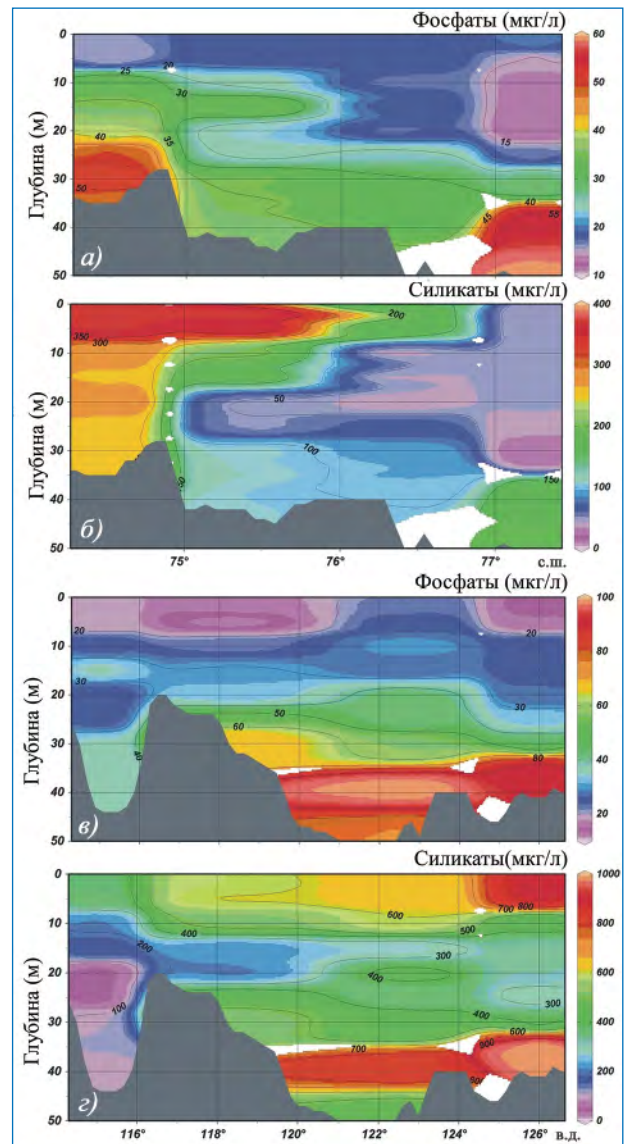


Рис. 3. Пространственное распределение фосфатов (а, в) и силикатов (б, г) на разрезах 3 (а, б) и 4 (в, г) по данным комплексных океанографических станций.

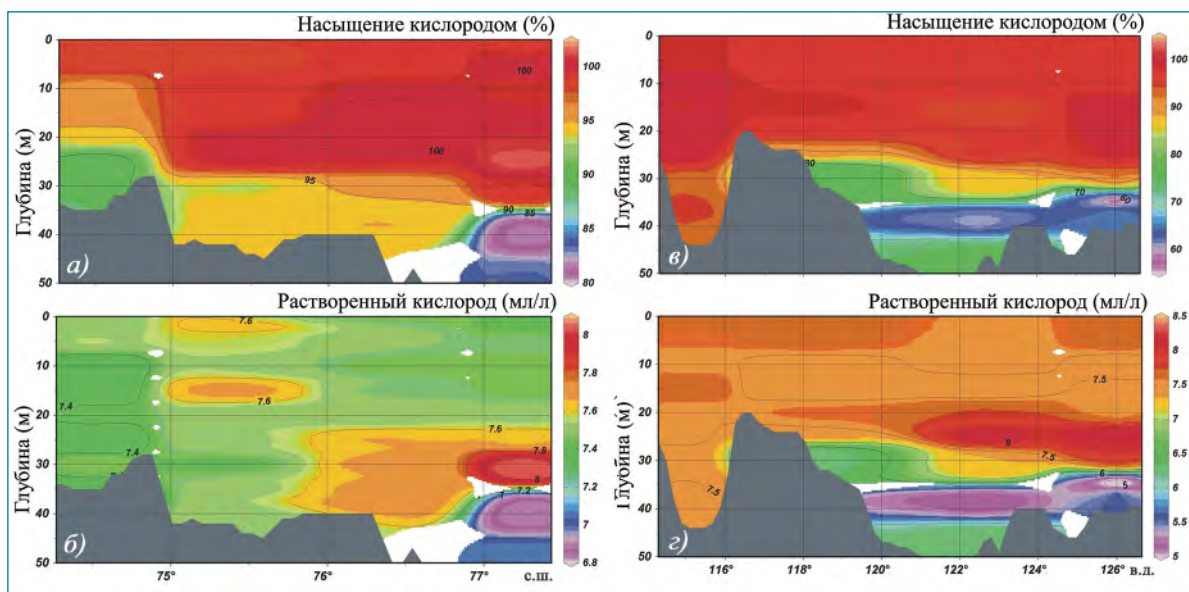


Рис. 4. Пространственное распределение насыщения морской воды кислородом (а, в) и содержание в морской воде растворенного кислорода (б, г) на разрезах 3 (а, б) и 4 (в, г) по данным комплексных океанографических станций.

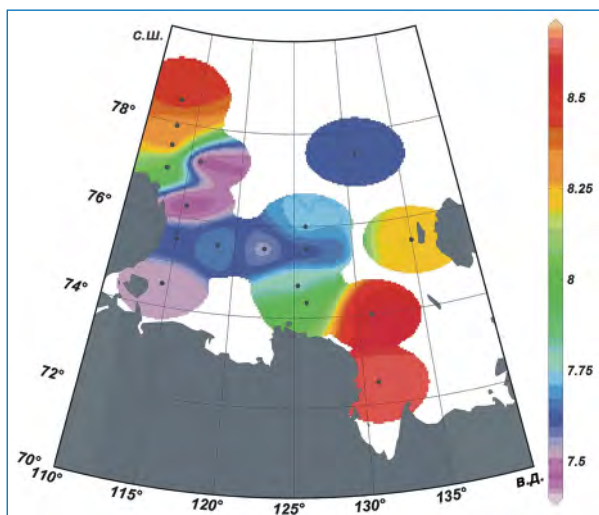


Рис. 5. Содержание растворенного кислорода (мл/л) на горизонтах 2–5 м.

Пространственное распределение фосфатов характеризуется повышенными значениями на горизонтах 20–30 м и на глубине 40 м западнее и севернее дельты р. Лены соответственно. Пониженные значения растворенных фосфатов отмечены в подводном каньоне р. Хантаги. В целом количество растворенных фосфатов повышается с глубиной.

В верхнем квазиоднородном слое (ВКС) максимальные значения содержания кислорода в морской воде (больше, чем 8 мл/л) и ее насыщения кислородом (98 %) отмечались на юго-востоке (рис. 5), здесь же отмечены максимальные значения флуоресценции фитопланктона (больше, чем 55 FTU). Это позволяет предположить биогенное происхождение данной особенности пространственного распространения кислорода. Также отмечаются повышенные значения растворенного кислорода (рис. 4) на северо-западе моря на глубинах ниже 5 м с максимумом в слое 15–30 м (насыщение 105 %), возможно, из-за пониженных температур морской воды. Понижение содержания кислорода в морской воде с глубиной (до 50 %-ного насыщения и 5 мл/л) происходит, видимо, из-за потерь кислорода на окисление органики у дна.

Океанографические исследования

Океанографические условия в море Лаптевых к моменту проведения экспедиционных исследований сформировались в результате воздействия атмосферных процессов, таяния льда и отступления кромки льдов, накопления теплозапаса в поверхностном слое и циркуляции вод.

При анализе пространственного распределения температуры воды (рис. 6) можно выделить четыре участка акватории моря:

- северо-западная часть моря характеризуется повышенными значениями солёности (28,7 ‰), более низкой температурой вод (от 0–1,5 °С до 1,6–1,8 °С) из-за поступления вод из Арктического бассейна и влияния процессов таяния льда (пятно пониженной солёности 27–28 ‰);

- юго-западная часть моря характеризуется относительно высокими значениями солёности (25–27,4 ‰) и высокими значениями (до 4,2–4,5 °С, максимум 4,93 °С) температуры морской воды. Повышенный температурный фон определяется влиянием потоков атмосферного тепла, аномально высоких в июле и несколько менее высоких — в августе;

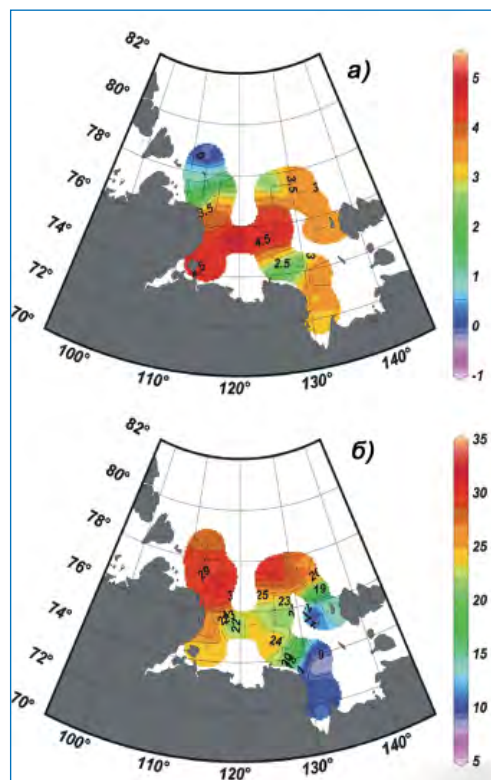


Рис. 6. Пространственное распределение температуры (а) и солёности (б) в поверхностном слое морской воды.

- юго-восточная и восточная часть моря находится под влиянием речного стока, и ее воды имеют пониженную солёность (6,39–11,1 ‰) и повышенную температуру (2,88–3,87 °С);

- северо-восточная и северная часть моря характеризуется относительно повышенной температурой (2,65–3,5 °С) и повышенными значениями солёности (26,87–31,55 ‰).

Анализ данных, полученных профилированием толщи морской воды с применением UCTD, показал, что верхний квазиоднородный слой (ВКС) утолщается с севера на юг и юго-восток от 5 (10) м до 15–20 м, его средняя температура при этом повышается, солёность ВКС выше средних многолетних значений. Толщина пикноклина на северо-западе примерно одинакова и составляет 8–12 м, над бровкой шельфа отмечено утоньшение пикноклина до 5–6 м на разрезах № 2 и № 3 и его поднятие с 30 м и с 20 м на разрезах № 4 и № 5. В западной части моря термоклин расположен глубже халоклина. Можно предположить, что ранее толщина поверхностного слоя была больше, чем в период измерений. Затем произошло небольшое распреснение, в результате чего максимальный градиент плотности переместился на меньшие глубины. Двойной халоклин отмечен на разрезах № 9–12, причем верхний халоклин расположен на глубине 10–17 м, а нижний на глубине 25–28 м. Нижний халоклин можно отнести к категории сезонных. В данном случае также отмечено уменьшение толщины халоклина с юга на север (северо-запад). Начиная с глубин 30–40 м на меридиональных разрезах, ориентированных поперек свала глубин, можно отметить наличие холодных придонных шельфовых вод с температурами от –1,6 до –1,76 °С. Данные воды формируются в зимний период в районе заприпайной полыньи в результате зимней конвекции. Над бровкой шельфа повсеместно отмечено утолщение слоя этих вод до 50–70 м.

Холодные шельфовые воды «скатываются» вдоль свала глубин до глубины около 200 м, проследившись на расстоянии от 15–18 км в западной части моря до 5 км в центральной его части.

Атлантические воды с температурами от 0,1 до 0,3 °С и соленостью 34,6 ‰ отмечены в северо-западной части моря и с температурами от 1,77 до 2,0 °С и соленостью 34,85 ‰ в северо-восточной его части. Данный тип водной массы располагался на глубине 130–240 м при толщине слоя 50–55 м и удалении 4–18 км от бровки шельфа в северо-западной части моря и на глубине 130–300 м на удалении до 30 км в центральной его части.

Заключение

Результаты наблюдений, полученные с помощью поднятой притопленной буйковой станции, а также при выполнении комплексных океанографических станций, будут в значительной степени способствовать решению научных задач, поставленных перед ГНЦ РФ ААНИИ.

*Л.А. Тимохов (ААНИИ), Х. Кассенс (GEOMAR),
А.Ю. Ипатов (ААНИИ)*

МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ LEAST НА ШПИЦБЕРГЕНЕ ВЕСНОЙ 2014 г.

Исследования процессов, происходящих в климатической системе Арктики, проводятся сегодня в тесном международном сотрудничестве. С 1993 г. существует научная российско-германская программа под названием «Система моря Лаптевых», участниками которой выступают Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (AWI, Германия), ИФМ-ГЕОМАР (Германия) и др. (подробнее в статье «20 лет российско-германским исследованиям системы моря Лаптевых. Интервью с главным специалистом ГНЦ РФ ААНИИ Л.А. Тимоховым» (Российские полярные исследования. 2013. № 3 (13). С. 5–11)).

Целью проекта «Трансполярная система Северного Ледовитого океана: прошлое, настоящее и будущее», начатого в 2010 г. в рамках этой программы, стало исследование изменений системы, ответственной за перенос льдов и пресной воды от морей сибирского шельфа через Арктический бассейн и пролив Фрама в Северную Атлантику. В связи с успешной реализацией проекта на Семнадцатом рабочем совещании в рамках Соглашения о сотрудничестве в области морских и полярных исследований между Министерством образования и науки РФ и Федеральным министерством образования и научных исследований ФРГ было принято решение о продолжении работ в 2013–2015 гг. и в марте 2014 г. состоялась экспедиция, в которой основным объектом исследований был выбран пролив Фрама. Названием для экспедиции — LEAST — послужила аббревиатура от Lead and Atmospheric Boundary Layer Study in the Transpolar System — Исследование пограничного слоя атмосферы и разводов в трансполярной системе.

Интерес ученых к этому вопросу связан с недостаточной изученностью процессов энерго-массообмена в устойчивом атмосферном пограничном слое (АПС) и необходимостью корректного описания в численных моделях климата физических процессов в системе «атмосфера — морской лед — океан», происходящих в прикромочной зоне морских льдов.

Экспедиция состоялась при финансовой поддержке Федерального министерства образования и научных исследований ФРГ. Главной особенностью экспедиции стало проведение детальной съемки ледяного покрова в ИК-диапазоне с борта самолета Polar 5 (AWI), а также измерение пульсаций метеорологических величин (температуры, влажности, давления воздуха) с использованием современной малоинерционной аппаратуры,

которая размещалась на зонде, вынесенном на 5 м перед корпусом самолета, для минимизации его влияния на показания датчиков. В работе приняли участие специалисты из ААНИИ, университета г. Трир и AWI (Германия). В научную группу входило три научных сотрудника, два техника, два пилота и бортинженер. В течение месяца были выполнены 8 полетов, из которых первые два были калибровочными и относительно небольшими по продолжительности (3–4 часа).

Во время первого калибровочного полета 4 марта к юго-западу от Шпицбергена осуществлялось маневрирование при максимально допустимых углах атаки и крена на различных высотах для последующей коррекции получаемых метеорологических данных. Второй полет 5 марта над Сторфьордом позволил отработать съемку разводов с помощью сканирующей камеры Optimage.



Схема полетов (зеленым цветом показаны калибровочные полеты, синим — полеты над разводьями, фиолетовым — полеты над разводьями и измерения в АПС).