

ОБ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИИ И ДАЛЬНЕЙШЕМ РАЗВИТИИ СИСТЕМЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА ХОДУ СУДНА

Пака В.Т., Голенко М.Н., Кондрашов А.А., Корж А.О., Ландер М.Р.,
Облеухов С.Д., Подуфалов А.П.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: vpaка@mail.ru*
Статья поступила в редакцию 09.09.2020, одобрена к печати 18.11.2020.

Представлены достижения в развитии техники оперативных измерений структуры вод в придонном слое, основанной на вертикальном зондировании водной толщи с использованием стандартных мультипараметрических зондов, погружаемых на кабель-тросе в режиме свободного падения от поверхности до дна. Вместо кабельных лебедев предложены более простые устройства, действующие по принципу ярусоподъемников. Натурные испытания показали, что новая универсальная система зондирования на ходу судна не уступает своим аналогам и имеет перспективы дальнейшего развития.

Ключевые слова: оперативная океанография, Балтийское море, гидрологический разрез, буксируемый профилограф

Введение

В шельфовых и эстуарных морях, где постоянно сосуществуют и взаимодействуют распресненные и осолоненные воды, особого внимания требует также придонный слой, в пределах которого действуют адвективные механизмы вентиляции глубинных вод, изолированных перманентным галоклином/пикноклином от насыщенного кислородом распресненного слоя. Ярким примером моря с адвективным механизмом вентиляции осолоненных вод является Балтика – основной объект нашего исследования (Meier et al., 2006). В последние десятилетия обновление глубинных вод в балтийских впадинах замедлилось, более продолжительными стали периоды стагнации (Feistel, Nausch, 2008). Темп наступления или отступления стагнации определяется никогда не прекращающимся водообменом с Северным морем, а также водообменом между отдельными бассейнами, для которого большое значение имеет изменчивость атмосферного воздействия. Отследить происходящие при этом изменения гидрологических полей трудно из-за больших размеров моря и разнообразия условий в его многочисленных районах. Необходимо повысить количество и информативность регулярных съемок, в частности – оперативных измерений на разрезах, выполняемых на ходу судна с использованием мультипараметрических зондов. В данной статье обсуждается возможность решения этой задачи.

В настоящее время можно констатировать успешное освоение ряда технологий, полезных для оперативного применения. Достаточная глубина и частота зондирования обеспечивается системами с гидродинамическими носителями («wing operated profilers»), для которых выбор лебедки не критичен, так как длина кабеля во время сканирования не меняется, например (Allen, 2002). Важным недостатком зондов на гидродинамических носителях является быстрый рост натяжения, что ограничивает глубину зондирования из-за возможной перегрузки кабеля. Значительно проще устройство буксируемого носителя для профилографов, управляемых за счет измерения длины кабеля («winch operated profilers»). Они могут зондировать от поверхности до весьма больших глубин, но для работы с ними нужны лебедки, которые должны быть одновременно и быстрыми, и мощными. Такого типа профилографы, или сканирующие зонды, использовались на многих научно-исследовательских судах, оснащенных мощными кабельными лебедками. К их числу относятся сканирующий зонд «Рыбка» Института океанологии РАН (Пака и Кушников, 1989) и аналогичный зонд Института океанологии ПАН (Piechura, Walchowski, and Beszczyńska-Möller), а также серия коммерческих профилографов MVP30, MVP200, MVP300 – Moving Velocity Profilers-, производимых вместе с лебедками для непрерывного сканирования в диапазонах до 30, 200 и 300 м, соответственно, при скорости хода до 12 узлов (сайт AML Oceanographic). Лебедки, пригодные для работы с наиболее распространенными сканирующими зондами, имеются далеко не на каждом исследовательском судне. Увеличить скорость вытравливания кабель-троса можно при свободном вращении кабельного барабана, но тогда возникнет проблема с его торможением. Режим свободного хода для большинства океанографических лебедок не является штатным, и торможение на высоких оборотах можно отнести к экстраординарной рискованной операции. Исключение составляют специально сконструированные спускоподъемные механизмы, например, лебедки AML Oceanographic, имеющие классическую конструкцию с массивным кабельным барабаном достаточно большой канатоемкости. Более интересное решение предложено компанией Teledyne Oceanscience, применившей портативную лебедку для работы с бескабельным зондом Underway CTD (Rudnik, Klinke, 2007), погружаемом на тонком прочном шнуре. Однако и эта лебедка стоит существенно дороже используемого CTD зонда. Значительная глубина зондирования обеспечивается за счет того, что зонд, оснащенный менее инерционными, чем обычно, датчиками, можно погружать при свободном вращении барабана со скоростью 4 м/с, без потери качества данных. Имеется еще один вариант сканирования водной толщи на ходу судна, основанный на принципе, который применен для системы, известной как «Wire Walker», представляющей собой донную станцию с притопленной плавучестью, надраивающей трос, по которому перемещается зонд (Roman et al., 2019). Естественным ограничением работоспособности этой системы является отклонение буксируемого троса от вертикали. Поэтому

зонд сканирует только нижние горизонты, где трос отклоняется от вертикали на угол менее 45° . Зонд представляется его разработчиками как прибор, заполняющий свободную нишу в диапазоне глубин – глубже 400 м. Для Балтики этот интервал глубин не актуален, хотя для некоторых более глубоких районов, где могут возникать придонные плотностные течения, этот метод может оказаться полезным.

Общим недостатком всех перечисленных систем зондирования, кроме относительно высокой стоимости спускоподъемного оборудования, является их полная непригодность или ограниченная пригодность для исследования придонного слоя. Для всех, кроме свободно падающих, касанию дна препятствует большая горизонтальная составляющая скорости движения зонда, а для свободно падающих такая задача специально не ставилась, и зонды не оснащались соответствующим образом.

Цель нашей работы – обеспечить возможность безопасного касания дна, используя при этом стандартные, а не специальные мультипараметрические зонды, не используя тяжелые мощные лебедки и не уступая при этом известным буксируем профилографам в частоте повторения зондирований. Важным требованием является также обеспечение свободного падения как условия подавления помехи от качки судна-носителя при исследовании тонкой структуры моря. Во избежание динамических ошибок при регистрации тонкой стратификации, предусмотрена регулировка скорости падения в соответствии с требованиями производителей зондов к скоростному режиму зондирования.

Предложенной для решения указанных задач технической новинкой в построении спускоподъемной системы является использование для выборки шнура или кабеля тянущего шкива с V-образной канавкой, успешно применяемого на рыболовных судах для подъема ярусов. Сначала в качестве привязного элемента использовался капроновый или полипропиленовый шнур (Beldowski et al., 2018; Paка et al., 2019). Выбираемый шнур укладывался свободными петлями на палубу или подматывался на легкую вьюшку, откуда его можно было сразу же выпускать за борт со скоростью хода судна, что и требуется, в первую очередь, при зондировании до дна. Однако все системы с бескабельными зондами имеют общий недостаток – отсутствие сигнала достижения дна, без которого нельзя закончить зондирование вовремя, и по этой причине данные о придонном слое или не будут получены, или, в случае передержки зонда на дне, заметно возрастет продолжительность цикла зондирования и ухудшится пространственное разрешение разреза. Задача дальнейшего развития техники измерений на разрезах заключается в том, чтобы, сохраняя достигнутые преимущества системы вертикального зондирования на ходу судна (Paка et al., 2018), дополнительно обеспечить непрерывное получение данных, необходимых для управления процессом зондирования, для этого следует перейти на кабельные зонды вместо бескабельных и кабель-тросы вместо шнуров из синтетических материалов.

Спускоподъемное устройство Выбор кабеля

Из номенклатуры производимых в РФ грузонесущих кабелей, применявшихся для работы с гидрологическими зондами, заслуживает внимания одножильный кабель-трос КГл 1×0.35 диаметром 3.6 мм с разрывным усилием не менее 10 кН (Севкабель). Нагрузки на спускоподъемные устройства при работе с этим кабелем оказались близкими к нагрузкам при работе с капроновыми шнурами диаметром 6 мм, что позволило использовать имеющиеся механизмы с минимальной переделкой. Надежность при этом повысилась, так как допустимая нагрузка на кабель-трос может быть увеличена в 2 раза.

Выбор и снаряжение зонда

Для работы на кабель-тросе КГл 1×0.35 был адаптирован мультипараметрический зонд OS310 итальянской фирмы Idronaut S.r.l. Система телеметрии была настроена на работу с кабелем длиной до 1 км, что не является пределом для системы, позволяющей работать с кабелем длиной до 10 км.

Зонд снаряжается по проверенной схеме (Пака et al., 2018; Куклев и др., 2020), представленной на рис. 1, в соответствии с требованием его постоянной ориентации навстречу набегающему потоку и безопасного контакта с дном в конечной точке зондирования. Зонд размещен между поплавком и грузом, кабель крепится между зондом и грузом. Поплавок удерживает зонд над дном в вертикальном положении, как это показано на рис. 1. Скорость погружения регулируется подбором веса груза в пределах, допустимых для используемых датчиков, в нашем случае – 1–1.5 м/с. В отличие от капронового шнура кабель-трос тонет под своим весом. Излишне вытравленный кабель-трос может опуститься на связку и захлестнуть ее петлями, затягивающимися при подъеме, что крайне нежелательно, поэтому прекращение вытравливания кабеля в момент касания дна необходимо не только для сокращения расстояния между точками зондирования, но и для предотвращения нештатных ситуаций.

В состав спускоподъемного комплекса входят: кабельная вьюшка, барабан которой вмещает весь используемый в работе кабель-трос, механизм для выборки на-

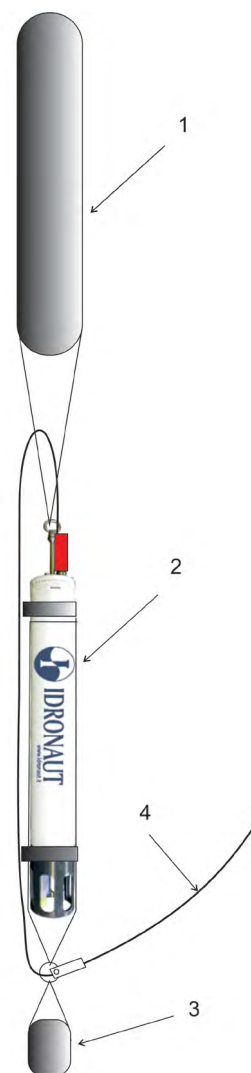


Рис. 1. Снаряжение зонда для измерений на ходу судна. 1 – поплавок, 2 – зонд, 3 – груз, 4 – кабель-трос.

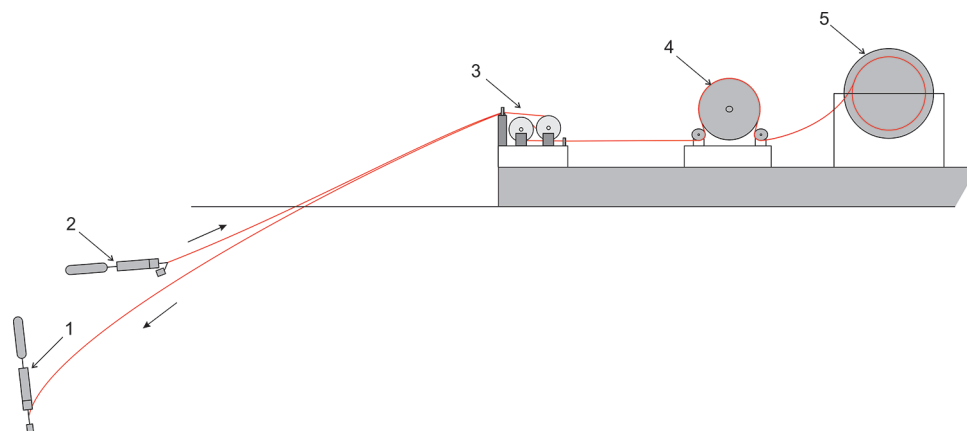


Рис. 2. Состав спускоподъемного комплекса. 1, 2 – связанные между собой зонд, поплавок и груз при спуске и подъеме, 3 – устройство для вывода кабеля за борт с тормозным устройством, 4 – механизм с тянущим шкивом и тормозным устройством, 5 – кабельная вьюшка.

груженого кабель-троса и торможения для прекращения вытравливания и устройство для вывода кабеля за борт с возможностью торможения вытравливания (рис. 2).

Кабельная вьюшка (рис. 3в) необходима, в первую очередь, для того, чтобы при зондировании кабель мог вытравливаться со скоростью хода судна. Для этого она должна быть максимально легкой. Вьюшка снабжена токосъемником, обеспечивающим связь с зондом при вращении барабана, электрическим приводом для вращения барабана, укладчиком кабеля, муфтой свободного хода; тормозом для прекращения вращения барабана по инерции. На рис. 3в представлены все элементы подматывающей вьюшки. К конструкции барабана предъявляются минимальные требования в отношении его прочности, что упрощает его изготовление. Щеки барабана изготовлены из влагостойкой фанеры, для стяжки использованы шпильки, пропущенные через трубки-распорки. Барабан вращается на полую металлическую ось, проходящую через опоры, закрепленные на сварном каркасе. Кабель наматывается непосредственно на трубки, а его коренной конец через полулю металлическую ось подводится к токосъемнику. Вращение барабана обеспечивается маломощным асинхронным электродвигателем, находящимся постоянно под напряжением, чем обеспечивается постоянное натяжение кабеля независимо от того, включен или выключен тянущий шкив. Торможение кабельного барабана производится ленточным тормозом. Предусмотрены два режима торможения: легкое притормаживание и полное торможение. Сила притормаживания обеспечивается постоянным небольшим натяжением тормоза и регулируется на пробных зондированиях с таким расчетом, чтобы скорость сматывания кабеля с барабана никогда не превышала скорости вытягивания его за борт. Без притормаживания, во время сильной качки, барабан может периодически разгоняться и выдавать лишнюю длину кабеля, создавая тем самым угрозу для образования скручивающихся петель. Полное затормаживание выполняется по команде «стоп» и позволяет остановить барабан приблизительно за одну секунду. Одновременно производится торможение остальных механизмов.



Рис. 3. Механизмы спускоподъемного комплекса; а – устройство для вывода кабеля за борт с тормозом, б – механизм с тянущим шкивом и тормозом, в – кабельная выюшка.

Тянувший механизм (рис. 3б) обеспечивает выборку нагруженного кабеля, и он же прекращает его свободное вытравливание. Шкив приводится во вращение электромотором. По завершении выборки шкив переводится на свободный ход, но кабель оставляется в клиновидной канавке, с таким расчетом, чтобы при торможении шкива большая тормозящая сила в канавке передавалась на кабель-трос и вытравливание прекращалось.

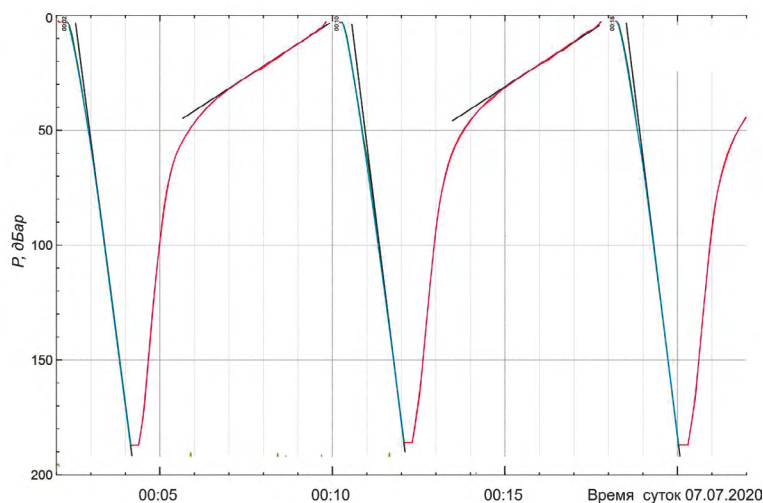
Учитывая, что основные механизмы установлены на палубе на удалении от кормы, в составе комплекса имеется **устройство для вывода кабеля** за борт (рис. 3а), играющее одновременно роль дополнительного тормоза. Принцип действия этого тормоза такой же, как и тормоза в устройстве выборки кабель-троса с той разницей, что кормовой механизм не имеет силового привода и содержит два шкива с клиновидными канавками, расположенные рядом с таким расчетом, чтобы кабель-трос охватывал их оба и имел с ними максимальную длину линии фрикционного зацепления. В таком варианте сила торможения может быть увеличена. Чтобы прекратить вытравливание кабеля, достаточно использовать любое из двух тормозных устройств, но, если основная часть механизмов находится на удалении от кормы, разнесение и дублирование тормозов полезно для повышения удобства и безопасности работы комплекса.

Результаты испытаний

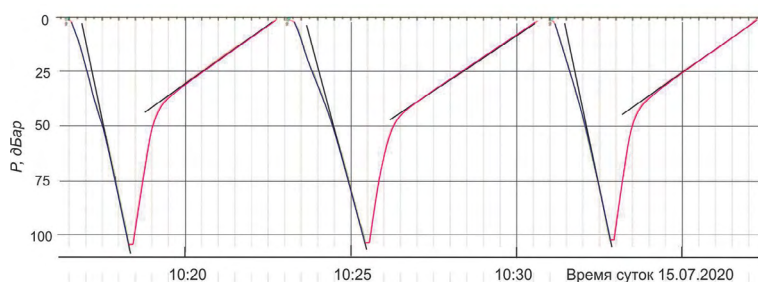
Испытания новой системы зондирования были проведены в июле 2020 г. в Балтийском море на НИС «Академик Иоффе».

Оценить качество работы спускоподъемного комплекса можно по записям сигнала датчика давления, пересчитываемого в глубину погружения. На рис. 4

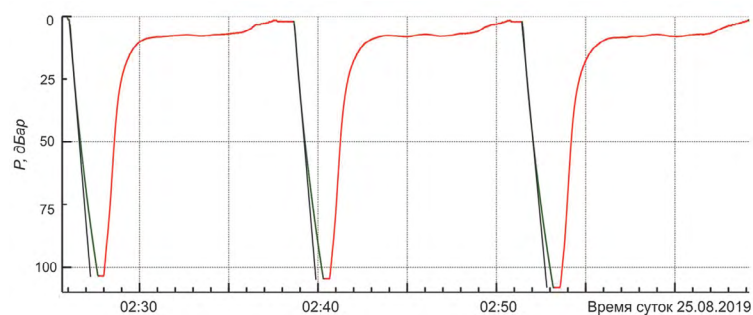
представлены фрагменты записи давления, характеризующие движение зонда при погружении и подъеме. Выбраны участки разреза с глубинами 185 м (рис. 4а) и 105 м (рис. 4б), характерными для центральной и южной Балтики. Первым выполнялся более глубокий разрез (рис. 4а), скорость хода была минимальной – 4 узла, а скорость погружения – 1.75 м/с, несколько выше оптимальной для регистрации тонкой структуры, но такой режим прохождения разреза обеспечил достаточно высокую частоту зондирования до дна – около 80 циклов на 100 км. На втором разрезе (рис. 4б) и всех остальных, расположенных в районах с меньшими глубинами, суд-



а



б



в

Рис. 4. Записи заглубления зонда при различных режимах зондирования. **а** – зондирование на кабель-тросе до глубины около 185 м, **б** – то же, до глубины около 100 м, **в** – зондирование на капроновом шнуре до глубины около 100 м.

но двигалось со скоростью около 5 узлов, а скорость погружения была снижена до 1 м/с, при этом частота зондирований выдерживалась на уровне около 100 циклов на 100 км, продолжительность цикла зондирования – 6–8 мин. За борт при этом выпускалось 400–550 м кабеля. Этот режим можно считать оптимальным для работы в южной Балтике, и он выдерживался до конца натурных испытаний.

Возвращаясь к анализу графиков погружения и выборки зонда, отметим важные особенности движения зонда, обусловленные использованием кабель-троса, вес которого в воде составляет 4.6 кг/100 м вместо капронового шнура, имеющего нулевую плавучесть. Для сравнения на рис. 4в приведены графики изменений глубины при погружении зонда с поплавком и грузом на капроновом шнуре. Для удобства оценки равномерности скорости движения на графики наложены прямые линии. По отклонениям от прямой видно, что при погружении зонда на кабеле скорость погружения сначала растет, затем заметно не меняется. При погружении на шнуре скорость погружения постепенно замедляется. Это отличие объясняется тем, что шнур в воде не тонет и воздействует на зонд с тормозящей силой большей, чем тонущий кабель-трос. При прекращении вытравливания, в обоих случаях зонд сразу начинает подниматься с максимальной скоростью, но в случае с кабель-тросом быстрый подъем прекращается, как только зонд приближается к глубине, до которой кабель успел погрузиться под собственным весом, и далее зонд начинает подниматься вместе с кабелем со скоростью около 20 см/с. Этот участок подъема можно использовать для исследования структуры верхнего деятельного слоя при пониженной скорости зондирования, наиболее благоприятной для изучения тонкой стратификации. При зондировании на фале весь подъем до поверхности происходит с высокой скоростью, и никакого преимущества для получения более качественной информации о структуре поля на этом участке не возникает.

Чтобы оценить репрезентативность данных о тонкой структуре, сопоставим ее отображение при погружении и выборке зонда. На рис. 5 приведен пример зондирования в районе, где сложность тонкой структуры наблюдается на всех глубинах, включая придонный слой. Таким свойством отличается структура вблизи восточного склона в южной части Готландской впадины, где обнаружена ветвь локального затокового течения, распространяющегося в придонном слое и несущего воды, контрастирующие с окружающей средой. Построены вертикальные профили температуры T , солёности S , аномалии плотности σ_θ и концентрации кислорода O_2 при движении зонда вниз и вверх. Из них 3 первых параметра – T , S , σ_θ – отображаются одинаково информативно, а кривые кислорода расходятся, что объясняется инерционностью датчика. В слоях, где содержание кислорода падает, показания завышаются, и наоборот, где растёт – занижаются, но при этом отличаться от истинного будет только привязка чередующихся высоко- и слабоградиентных слоев к глубине. Оперативно полученные разрезы в поле кислорода можно использовать в качестве надежных указателей местоположения примечательных особенностей гидрологических полей. Чтобы получить более точные профили вертикальной структуры кислорода, нужно на выделенных участках оперативных разрезов про-

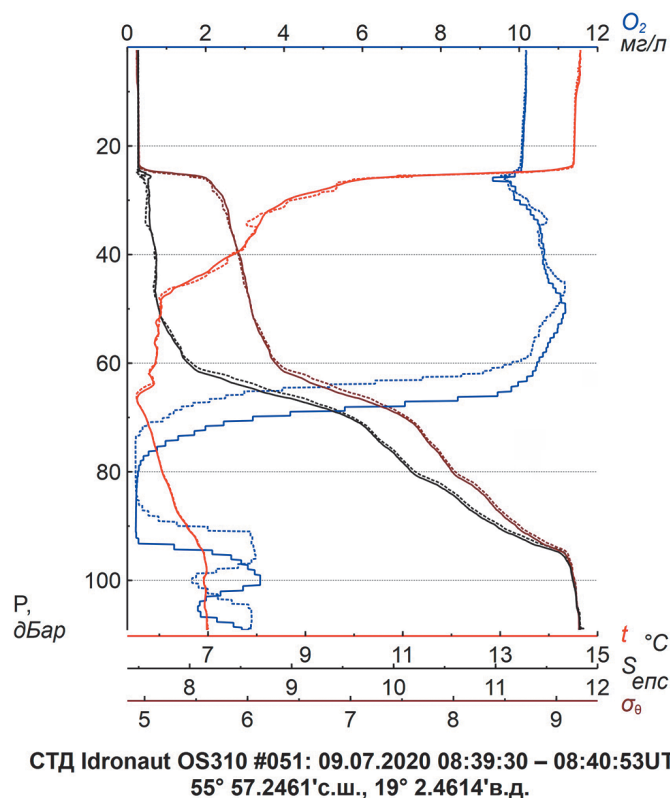


Рис. 5. Пример записи вертикальной структуры гидрологических полей при спуске и подъеме.

вести дополнительные измерения на дрейфовых станциях. Точность этих измерений будет выше, если зондирования будут проводиться в режиме свободного погружения на пониженной скорости, что достигается уменьшением веса груза (рис. 1).

Схема съемки, выполненной с целью эксплуатационных испытаний новой техники, представлена на рис. 6. Суммарная протяженность разрезов составила 883 км, количество зондирований – 834, среднее расстояние между точками зондирования (горизонтальное разрешение) – 1.06 км, время, затраченное на выполнение разрезов составило в сумме 96 час, скорость хода около 4–5 узлов, средняя продолжительность цикла зондирования – 6.9 мин. Основным достоинством новой методики измерений является контролируемое достижение дна в режиме свободного падения. Но и по показателям производительности и надежности новый спуско-подъемный комплекс не уступает известным аналогам.

Об информативности данных, полученных в ходе экспериментальной съемки, можно судить по разрезу, пересекающему глубокую часть моря южнее о-ва Готланд и проходящему через Гданьскую впадину, маргинальную зону между Гданьской и Готландской впадинами (Гданьско-Готландский порог) с глубиной, близкой к глубине перманентного галоклина в этой части Балтики, и южную часть Готландской впадины до ее западного склона у берегов Швеции (рис. 6). Разрез выполнен в два приема: в начале и в конце рейса. На полученной на этом разрезе пространственной структуре гидрологических полей можно обнаружить признаки локального за-

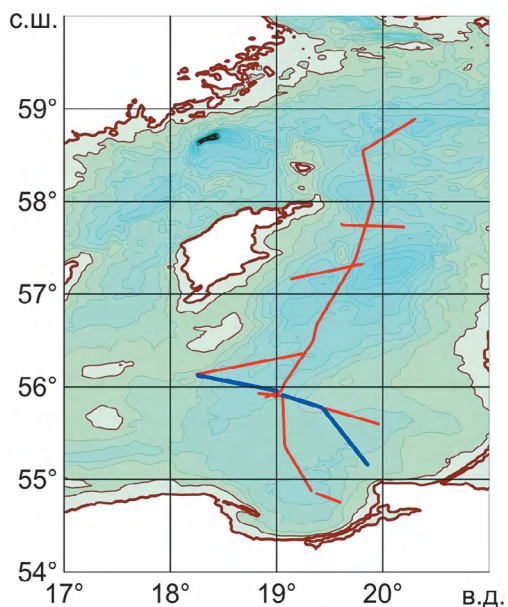


Рис. 6. Расположение разрезов при выполнении эксплуатационных испытаний новой методики зондирования. Синим цветом отмечены разрезы, показанные на рис. 7.

токового течения, причем наиболее информативным в этом отношении является распределение кислорода, так как свежая вода содержит больше кислорода, чем старая, и контраст тем больше, чем больше степень стагнации вод под галоклином.

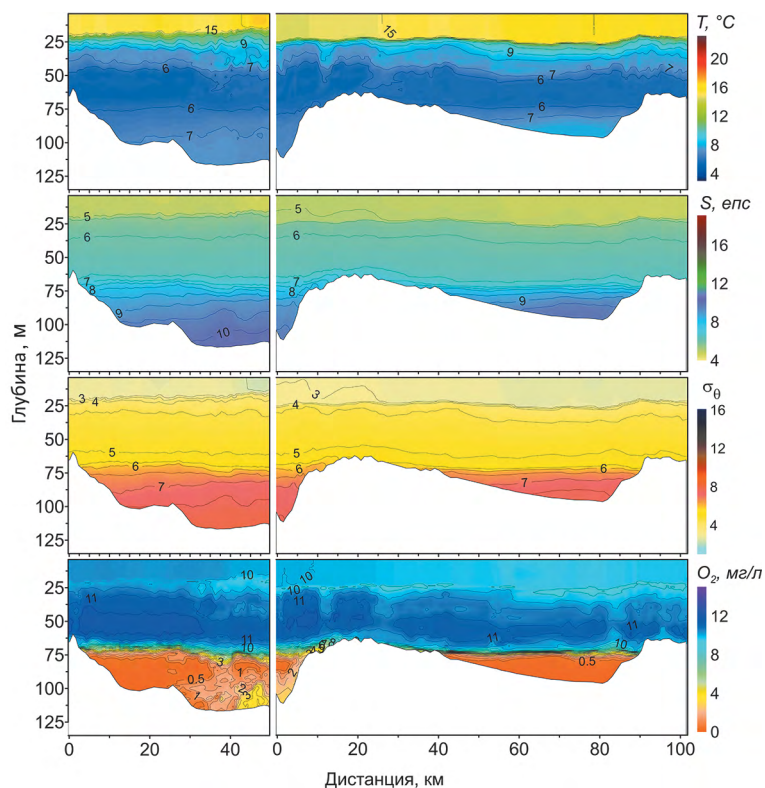


Рис. 7. Пример пространственного распределения температуры, солёности, аномалии плотности и содержания растворенного кислорода на разрезах, отмеченных синим цветом на рис. 6.

На разрезе в поле кислорода видно, что на участке в Гданьской впадине (30–90 км) нет никаких признаков поступления свежей воды под галоклином, а на участке в Готландской впадине (25–50 км) такие признаки имеются именно там, где находится вода максимальной плотности. Умеренно аэрированная вода располагается здесь под гипоксидной водой, что соответствует предположению о том, что аэрированный слой появляется благодаря направленному на север плотностному затоковому течению.

Заключение

Предлагаемый вариант технического решения задачи о проведении оперативных съемок термохалинной структуры гидрологических полей был разработан и испытан на крупнотоннажном судне, на котором менять режим работы двигателя в процессе прохождения маршрута противопоказано. Чтобы судно шло по разрезу заданным курсом с постоянной скоростью, нужно выпускать за борт большое количество кабель-троса. Испытания показали, что это можно сделать без больших финансовых затрат. В дальнейшем весь комплекс механизмов можно сделать более компактным, а его обслуживание – менее трудоемким. С этой целью все механизмы и систему регистрации и визуализации данных следует разместить в контейнерной лаборатории, саму лабораторию установить максимально близко к корме, а все органы управления собрать на одном пульте, обслуживаемом одним оператором. Композиционно оптимизированный комплекс можно разместить на судне любого водоизмещения и назначения, что повышает доступность проведения оперативных съемок для организаций, не имеющих собственных судов. Заглядывая еще дальше и оценивая техническую и экономическую целесообразность использования крупнотоннажных НИС для выполнения в течение многих суток одного вида работ и движения ради этого на пониженной скорости, можно отказаться от вытравливания длинного кабель-троса на ходу судна, а все зондирования проводить в дрейфе, но не с большого судна, а со специально оборудованного быстроходного катера. В этом случае можно вернуться к обычной схеме зондирования с использованием компактной лебедки, мощности которой должно хватать на работу с легким зондом, погружающимся вертикально на относительно коротком кабеле в режиме свободного падения до заданной глубины или до касания дна. Применительно к исследованиям Балтики, затрата времени на одно такое зондирование настолько мала, а остановка катера настолько проста, что катер может чередовать зондирования в дрейфе с движением по маршруту полным ходом и проходить при этом трассу разреза вместе с базовым судном с его средней крейсерской скоростью. Более того, этот максимально компактный, но эффективный с точки зрения качества измерений на разрезах исследовательский комплекс, может быть размещен на беспилотном плавсредстве или летательном беспилотном аппарате, управляемом с базового судна. Реализацию этой перспективной схемы оперативных съемок можно включить в планы создания научного оборудования для нового поколения научных судов.

Благодарности. Модернизация аппаратного комплекса для проведения зондирования на ходу судна выполнена в рамках Госзадания № 0128-2019-0010; испытания новой системы зондирования и ее оперативная доработка – при поддержке РФФИ, проект № 18-05-80031; анализ натуральных данных – при поддержке РФФИ, проект № 19-05-00962.

Литература

- Куклев С.Б. и др.* Опыт одновременных измерений параметров течения и гидрологической структуры вод с борта движущегося судна. 2020 г. // *Океанология*. 2020. (В печати).
- Пака В.Т., Кушников В.В.* Об использовании термохалозондов в режиме буксировки // *Океанология*. 1989. Т. 29. № 1. С. 160–163.
- «Севкабель» // https://sevkab.ru/catalog/cable_kgl_tu-3585-003-91988690-2014.html/ (дата обращения: 01.07.2020).
- Allen. J.* Operational oceanography using the new SeaSoar undulator. // *Sea Technology*. 2002. 43(4):3.
- AMD Oceanographic // <https://amloceanographic.com/moving-vessel-profiler-mvp/> (дата обращения: 01.07.2020).
- Beldowski J., Paka V., Golenko M. et al.* Best Practices in Monitoring. In.: NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer Science + Business Media. 2018. P. 213–238. DOI: 10.1007/978-94-024-1153-9_9.
- Dever M.* EcoCTD for profiling oceanic physical-biological properties from an underway ship // *J. Atmos. Ocean. Tech.* April. 2020. DOI: 10.1175/JTECH-D-19-0145.1.
- Feistel R., Nausch G., Wasmund N.* State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005: A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment. May, 2008. P. 736. ISBN: 978-0-471-97968-5.
- Furlong A. et al.* The Moving Vessel Profiler (MVP)-a Rapid Environmental Assessment Tool for the collection of water column profiles and sediment classification. Defence R and D Canada-Atlantic Dartmouth. NS Canada, 2006.
- Herman A. et al.* The Moving Vessel Profiler (MVP): In-situ sampling of plankton and physical parameters at 12 kts and the integration of a new Laser Optical Plankton Counter // *Proc. Oceanol. Int.* 1998. Vol. 102. P. 123–135. <http://www.alexherman.com/pub002.php>.
- Idronaut // <https://www.idronaut.it/multiparameter-ctds/environmental-ctds/os310-environmental-ctds/> (дата обращения: 01.07.2020).
- Meier M. et al.* Ventilation of the Baltic Sea deep water: A brief review of present knowledge from observations and models // *Oceanologia*. 48 (S). 2006. P. 133–164.
- Paka V.T. et al.* Innovative closely spaced profiling and microstructure measurements in the southern Baltic Sea in Summer/Autumn 2016–2018 with special reference to the bottom layer // *Frontiers in Earth Science*. Vol. 7. 2019. DOI: 10.3389/feart.2019.00111.
- Piechura J., Walczowski W., Beszczyńska-Möller A.* On the structure and dynamics of the water in the Słupsk Furrow // *Oceanologia*. 1997. Vol. 39 (1).
- Rudnick D., Klinke J.* The Underway Conductivity–Temperature–Depth Instrument // *J. Atmos. Oceanic Technol.* 2007. Vol. 24 (11): 1910–1923. <https://doi.org/10.1175/JTECH2100.1>.
- Roman C. et al.* The Wire Flyer towed profiling system // *J. Atmos. Oceanic Technol.* Vol. 36. 2019. P. 161–182. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-17-0180.1>.

ON IMPROVEMENT AND FURTHER DEVELOPMENT OF THE MOVING VESSEL VERTICAL PROFILER

**Paka V.T., Golenko M.N., Kondrashov A.A., Korzh A.O., Lander M.R.,
Obleukhov S.D., Podufalov A.P.**

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: vpaka@mail.ru
Submitted 09.09.2020, accepted 18.11.2020.*

Achievements in development of the technique of operational measurements of the water structure in the bottom layer, based on vertical profiling of the water column using standard multi-parameter probes operated with an armored cable in a free fall mode from surface to bottom are presented. Instead of cable winches, simpler devices operating on the principle of longline houlder have been proposed. Full-scale tests have shown that the new universal Underway CTD system is not inferior to its counterparts and has prospects for further development.

Keywords: operational oceanography, Baltic Sea, hydrological section, towed profiler

Acknowledgement: Modernization of the hardware complex for conducting profiling while the vessel is underway was carried out within the framework of State Assignment No. 0128-2019-0010; testing of a new profiling system and its operational revision – with the support of the Russian Foundation for Basic Research, project No. 18-05-80031; analysis of field data – with the support of the Russian Foundation for Basic Research, project No. 19-05-00962.

References

- Allen, J.* Operational oceanography using the new SeaSoar undulator. *Sea Technology*, 2002, 43(4):3.
- AMD Oceanographic.* <https://amloceanographic.com/moving-vessel-profiler-mvp/> (last access: 01.07.2020).
- Beldowski, J., V. Paka, and M. Golenko et al.* Best Practices in Monitoring. In.: NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Springer Science + Business Media, ISSN:1874-6519, Issue 9789402411522, 2018, pp. 213–238, doi: 10.1007/978-94-024-1153-9_9.
- Dever, M.* EcoCTD for profiling oceanic physical-biological properties from an underway ship. *J. Atmos. Ocean. Tech.* April, 2020, doi: 10.1175/JTECH-D-19-0145.1.
- Feistel, R., G. Nausch, and N. Wasmund.* State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005: A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate. *Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment*, May, 2008, pp. 736, ISBN: 978-0-471-97968-5.
- Furlong, A. et al.* The Moving Vessel Profiler (MVP)- A Rapid Environmental Assessment Tool for the collection of water column profiles and sediment classification. Defence R&D Canada-Atlantic Dartmouth, NS Canada, 2006.

- Herman, A. et al.* The Moving Vessel Profiler (MVP): In-situ sampling of plankton and physical parameters at 12 kts and the integration of a new Laser Optical Plankton Counter. *Proc. Oceanol., Int.*, 1998, 102, pp.123–135, <http://www.alexherman.com/pub002.php>.
Idronaut. <https://www.idronaut.it/multiparameter-ctds/environmental-ctds/os310-environmental-ctds/> (last access: 01.07.2020).
- Kuklev, S.B. et al.* Opyt odnoremennyh izmerenij parametrov techenija i gidrologicheskoj struktury vod s borta dvizhushchegosija sudna. *Okeanologia*, 2020, (in press, in Russian).
- Meier, M. et al.* Ventilation of the Baltic Sea deep water: A brief review of present knowledge from observations and models. *Oceanologia*, 48 (S), 2006, pp. 133–164.
- Paka, V.T. and V.V. Kushnikov.* Ob ispolzovanii termokhalozondov v rezhime buksirovki. *Okeanologia*, 1989, Vol. 29, No. 1, pp.160–163. (in Russian).
- Paka, V.T. et al.* Innovative closely spaced profiling and microstructure measurements in the southern Baltic Sea in Summer/Autumn 2016–2018 with special reference to the bottom layer. *Frontiers in Earth Science*, 7, 2019, doi: 10.3389/feart.2019.00111.
- Piechura, J., W. Walczowski, and A. Beszczyńska-Möller.* On the structure and dynamics of the water in the Słupsk Furrow. *Oceanologia*, 1997, 39 (1).
- Roman, C. et al.* The Wire Flyer towed profiling system. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 36, 2019, pp. 161–182, <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-17-0180.1>.
- Rudnick, D. and J. Klinke.* The Underway Conductivity–Temperature–Depth Instrument. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 2007, 24 (11): 1910–1923, <https://doi.org/10.1175/JTECH2100.1>.
- Sevkabel* // https://sevkab.ru/catalog/cable_kgl_tu-3585-003-91988690-2014.html/ (last access: 01.07.2020).