

Техника для рыбохозяйственных исследований

УДК 551.46(262.5)

Чёрное море как полигон отработки новых технологий океанологических съёмок

Д.Е. Левашов, В.В. Сапожников

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)
E-mail: levashov@vniro.ru

Во ВНИРО разработана первая в практике отечественной промысловой океанологии технология полигонных съёмок с использованием буксируемого по синусоидальной траектории носителя измерителей параметров морской воды — ондулятора типа Aquashuttle. Апробация ондулятора и отработка методики его использования была проведена в экспедиции ВНИРО в 1996 г. на НИС «Южморгеология» в Чёрном море при проведении подспутникового эксперимента. Оперативное проведение станций с использованием зондирующего комплекса на основе СТД-зонда и кассеты батометров в выявленных ондулятором точках, представляющих особый интерес, позволило не только выделить мезо- и микромасштабные вихревые структуры на исследуемом полигоне, но и значительно сократить время съёмки. Разработанная методика была использована при последующих рыбопромысловых исследованиях.

Ключевые слова: вертикальное зондирование, буксируемый носитель, ондулятор, методика, полигон.

ВВЕДЕНИЕ. В последние десятилетия одной из самых значительных проблем методологии судовых экспедиционных исследований является неоднозначность интерпретации результатов фоновых съёмок исследования на больших акваториях, связанная с несовпадением порядка временных масштабов процесса исследования и изменчивости объекта [Левашов, Сапожников, 2000б]. Особенно ярко этот эффект проявляется при сравнении информации космических аппаратов с данными подспутниковых полигонных исследований. Дело в том, что фоновая съёмка по стандартной сетке станций может занимать значительное время, например, 1–2 месяца и более в зависимости от размеров акватории. В результате поля распределения исследуемых параметров, построенные по окончании съёмки, могут отражать не только пространственные неоднородности, но и их

временную изменчивость за период съёмки. Такое положение не только затрудняет сопоставление данных, получаемых в начале и конце полигона, но и может свести на нет все усилия по съёмке акватории.

Конечно, имеются способы минимизации этой проблемы. Например, в конце полигона проводится возврат на начальную станцию с пересечением исследуемой акватории по кратчайшему расстоянию и повторением по пути следования нескольких реперных станций. Последующее определение временных коэффициентов соответствия для измеряемых параметров на станциях, выполненных дважды, позволяет более правильно провести окончательный анализ результатов исследований. Однако такое решение не всегда возможно, и поэтому для совершенствования методик проведения съёмок на больших акваториях основные усилия на-

правляются на максимально возможное сокращение общего времени съёмки на полигоне.

Попытаемся оценить реальные значения этих величин и их вклад в общее время проведения фоновой съёмки [Левашов, Сапожников, 2000а]. Время фоновой съёмки $T_{фс}$ складывается из длительности проведения станций ($\sum T_{ст}$), числа станций (n), а также длительности и числа переходов между станциями ($\sum T_{пер}$ и m):

$$T_{фс} = \sum_{i=1}^n [(T_{зонд} + T_{под}) N_{зонд}] + \sum_{i=1}^m \frac{L_{пер}}{V_{НИС}} K_{био} K_{обр}, \quad (1)$$

где: $T_{зонд}$, $T_{под}$, $T_{лов}$ — продолжительность зондирования, подготовки зондов, сетных ловов; $N_{зонд}$ и $N_{лов}$ — число зондирований и сетных ловов; $L_{пер}$ — время переходов; $V_{НИС}$ — скорость судна; $K_{био}$ — коэффициент, связанный с суточным ритмом биотических параметров; $K_{обр}$ — коэффициент, связанный с продолжительностью обработки проб, взятых на предыдущей станции.

Наиболее очевидным фактором, значительно влияющим на продолжительность съёмки, является скорость судна. Однако её увеличение ограничивается не только техническими характеристиками судна и погодными условиями, но и методикой обработки данных, полученных на предыдущей станции. Дело в том, что уменьшение продолжительности переходов между станциями за счёт увеличения скорости судна отрицательно влияет на полноту обработки взятых проб и требует большей численности научного персонала. Вместе с тем, развитие методов аналитической гидрохимии [Сапожников, Левашов, 2000а] и внедрение в экспедиционную практику современных гидрохимических анализаторов позволяет на сегодняшний день сократить время обработки проб, отобранных на станциях. Это возможно благодаря широкому применению вычислительной техники и специализированного программного обеспечения. В результате значительно снижаются требования к пределам увеличения скорости судна $V_{НИС}$ из выражения (1). Далее, как видно из этого выражения, на продолжительность съём-

ки наибольшее влияние оказывают продолжительность станций и их число.

Продолжительность станций, проводимых по стандартным методикам с отбором проб серий батометров, которые применяются в практике бассейновых исследований, и время, затрачиваемое на проведение станций, примерно равны времени переходов между станциями [Юдович, 1974; Мельников, Лукашов, 1981]. Современные зондирующие комплексы позволяют намного сократить продолжительность станции вплоть до времени проведения одного зондирования [Левашов, Сапожников, 2000а,б]. Например, при глубине зондирования в 1000 м и его скорости в 1 м/с это составит примерно 30–40 мин, т.е., в соответствии с выражением (1), общее время проведения съёмки уменьшится на 35–40 %. Главной проблемой здесь является выбор оптимального состава зондирующей аппаратуры.

Сокращение числа станций снижает информативность съёмки, но её можно поддержать на том же уровне или даже повысить, если вести измерения на ходу судна. В зависимости от решаемой задачи, в одних случаях измерения на ходу судна позволяют полностью заменить традиционную методику выполнения полной сетки океанографических станций. В других случаях собранные с их помощью данные могут служить основанием для сокращения общего числа станций на полигоне и выбора мест проведения действительно необходимых станций для более детальных исследований по расширенному спектру параметров.

Таким образом, наиболее важными и актуальными задачами, требующими решения с целью максимально возможного сокращения продолжительности всех составляющих, влияющих на общее время съёмки на полигоне, являются:

- повышение скорости и мореходности экспедиционных судов соответствии с их конструктивными особенностями;
- оптимизация состава зондирующих комплексов в зависимости от решаемых задач промысловых исследований;
- разработка методик исследований с применением технических средств, позволяющих вести измерения на ходу судна.

Так как в результате создания интегрированных зондирующих комплексов минимальная

продолжительность проведения станций уже подошла к возможному пределу, то для дальнейшего сокращения времени съёмки на полигоне необходимо сокращать число станций за счёт исследований на ходу судна. В то же время этот путь является перспективным с точки зрения информативности съёмки. Дело в том, что закономерности распределения промыслово-значимых параметров, оцениваемые по традиционной технологии полигонных съёмок, позволяют выявить лишь их наиболее общие крупномасштабные неоднородности, хотя, как показывают наблюдения, горизонтальные размеры рыбных скоплений и «пятен» планктона варьируют от сотен метров до нескольких километров. Вполне естественно, что для выяснения механизма образования зон повышенной продуктивности или же чтобы просто проследить, в какой степени распределение гидробионтов зависит от условий среды, явно недостаточно принятой дискретности измерений (расстояние между станциями обычно составляет 40–60 миль).

Таким образом, измерения, осуществляемые на ходу судна, играют двойную роль. С одной стороны, сокращается число станций и, соответственно, продолжительность съёмки, а с другой — повышается общая информативность съёмки.

В настоящее время наиболее динамично развивающимся направлением в методике проведения океанологических работ с использованием буксируемой аппаратуры является применение носителей океанологических датчиков, буксируемых по волнообразной (синусоидальной) траектории. За рубежом такие носители называют ондуляторами (*undulator*), это название мы и будем далее использовать. Попеременно всплывая к поверхности и погружаясь до максимальных глубин в 100–400 м, большой комплекс океанологических датчиков, установленных на ондуляторах, позволяет получать практически непрерывные разрезы по соответствующим параметрам на ходу судна. Как правило, на ондуляторы устанавливаются СТД-зонды и измерители других океанологических параметров, но иногда на ондуляторы дополнительно ставится и иное оборудование, например, планктон-регистраторы, видеокамеры, акустические антенны и т.п.

Для отечественных рыбохозяйственных исследований использование ондуляторов имеет несколько дополнительных положительных моментов. Дело в том, что их применение оптимально согласуется с судовой гидроакустической техникой при рыбопоисковых работах. Кроме того, так как практически все промышленные суда оснащены кормовой кабель-тросовой лебёдкой для тралового зонда, то на переходах её можно использовать для буксировки ондуляторов. Таким образом, появляется возможность использования для научных исследований попутного промыслового судна.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА. Среди всех известных ондуляторов наиболее распространённым в мировой океанологической практике является ондулятор *Aquashuttle Mk III* [Левашов и др., 1997а,б; Левашов, 1999а], производимый фирмой «*Chelsea Instruments Ltd*» (Великобритания). Первый вариант ондулятора был разработан в Плимутском океанографическом институте по заказу гидрографической службы ВМФ Великобритании. Он выпускается уже более 20 лет, в том числе и для гражданского применения, став своеобразным «стандартом», аналогично тому, каким был *Neil Brown* для СТД-зондов. В 1995 г. ВНИРО приобрёл ондулятор для оценки его возможностей и целесообразности применения в отраслевых исследованиях [Levashov, 1996].

В стандартную комплектацию ондулятора, кроме буксируемого тела (рис. 1,а) с системой управления обычно входит зонд *AQUApack*, предназначенный для измерения электропроводности, температуры, гидростатического давления (глубины) и флюоресценции хлорофилла «а». В комплектацию ВНИРО, кроме ондулятора с зондом *AQUApack*, входит гидрохимический блок *AQUAtrace*, позволяющий дополнительно измерять кислород, рН и Eh, а также модемный блок, специально разработанный для буксировки комплекса на одножильном отечественном кабель-тросе КГ1-30-180. Для работы на малых скоростях на ондулятор устанавливаются небольшие крылья (рис. 1,б).

Апробация буксируемого комплекса и отработка методики его использования была проведена в экспедиции ВНИРО в 1996 г. на НИС «Южморгеология» [Романов, Сапожников, 1997] в Чёрном море. Комплекс буксировал-

ся на одножильном кабель-тросе диаметром 9,1 мм при скоростях от 6 до 12 узлов.

В связи с малым объёмом материалов по методике эксплуатации буксируемой системы в фирменной документации, в этой экспедиции основное внимание было уделено отработке спуско-подъёмных операций и режима буксировки по синусоидальной траектории, а также привязке полученных данных к навигационной

информации и их совместной обработке [Левашов, Михейчик, 1999].

К концу экспедиции эксплуатация буксируемой системы не представляла особой сложности. При некоторых навыках для работы было достаточно одного оператора на компьютере и одного наблюдающего за кормой с мостика при смене курса или каких-либо эволюциях судна, а также требовалась помощь 1–2 человек из экипажа на время постановки и выборки ондулятора (по 15–20 мин). Касаясь методики работы с ондулятором, целесообразно привести здесь также результаты экспериментов по определению зависимости максимальной глубины и амплитуды погружения ондулятора от скорости буксировки и длины вытравленного троса, которые были проведены в следующем рейсе [Романов, Сапожников, 1998].

Наибольшие величины максимальной глубины погружения и амплитуды синусоидальной траектории, достигнутые в результате экспериментов, составили 85 м и 48,8 м соответственно (рис. 2). Такие значения были получены при длине вытравленного троса в 500 м и при скорости буксировки в 9 узлов.

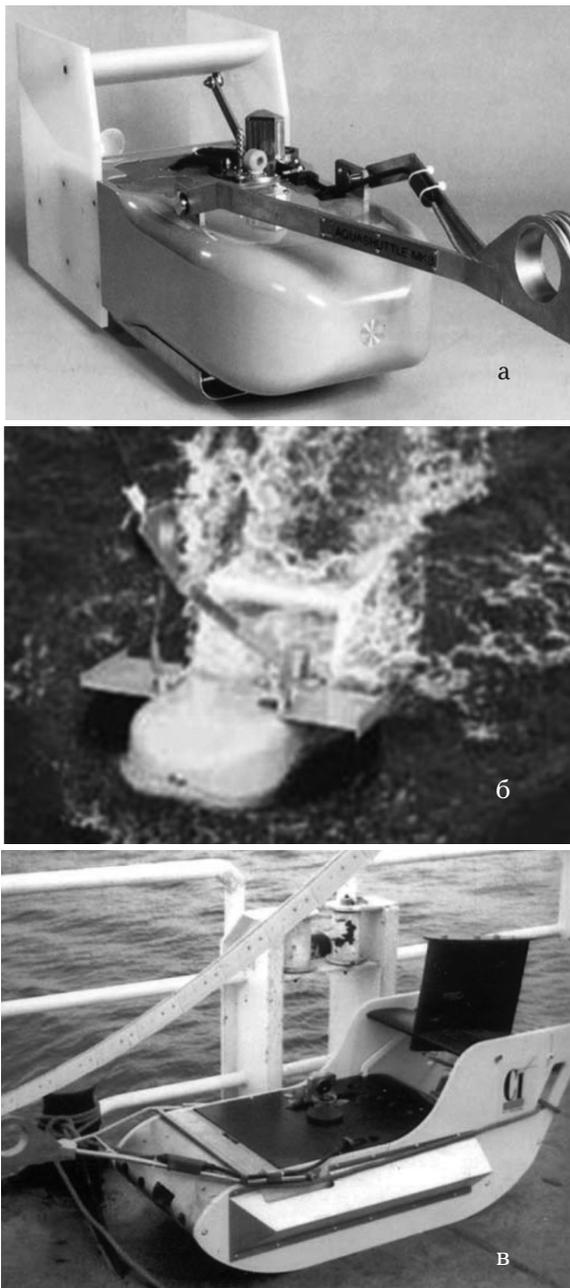


Рис. 1. Ондулятор: а, б — Aquashuttle Mk III; в — развитие предыдущей модели NuShuttle

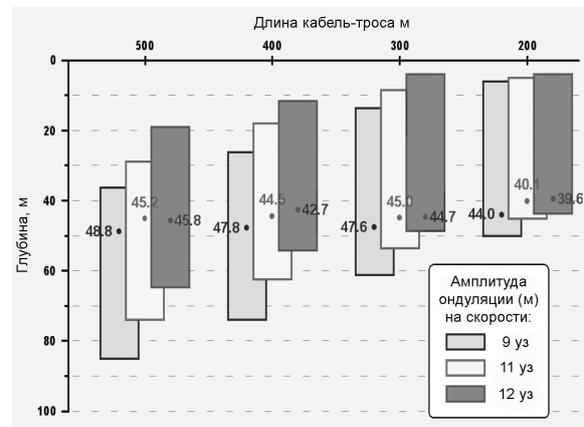


Рис. 2. Результаты экспериментов по определению зависимости максимальной глубины и амплитуды погружения ондулятора Aquashuttle Mk III от длины вытравленного троса и скорости буксировки

Однако минимальное расстояние до поверхности при этом оказалось не менее 36,2 м и уменьшить его не удалось. Анализируя полученные результаты, можно предположить, что недостаточный размах амплитуды по глубине был вызван применением имеющегося кабель-троса диаметром 9 мм, в то время как фирма

рекомендовала использовать для буксировки кабель-трос диаметром 6–8 мм.

Большой вес троса и его гидродинамическое сопротивление не дают ондулятору «всплыть» с максимальной глубины до поверхности. В результате оптимальной была признана скорость буксировки в 11 узлов, а длина троса варьировала в пределах 200–500 м. Таким образом, меняя длину троса на ходу судна, можно было выбирать среднюю глубину исследуемого слоя в пределах от 20 до 50 м при его толщине в 40–45 м.

Для привязки информации, получаемой с буксируемого измерителя, к координатам судна потребовалась синхронизация между судовой GPS-системой и таймером буксируемого измерителя с точностью до 1 с. После завершения разреза файл с океанологической информацией «сшивался» с файлом от GPS-системы по критерию общего времени, т.е. каждому измерению соответствовали строго определённые географические координаты. Затем файлы данных подвергались фильтрации с целью уменьшения динамических погрешностей измерений, связанных с высокой скоростью движения измерителя (4–7 м/с) и измерениями в слое с высокой изменчивостью. Дальнейшая обработка и представление информации осуществлялись с помощью широко известного в среде океанологов ПО Surfer (Win 32) V.6.03 фирмы Golden Software, Inc.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Наглядным примером эффективности применения буксируемого комплекса стало проведение полигонных съёмок, связанных с отработкой методик верификации спутниковых данных. Для глубокого понимания реальных океанологических явлений (вихри, фронтальные зоны), наблюдаемых со спутника, требуется выполнение съёмок подспутниковой акватории за минимальное время. В противном случае результаты обычной, например, месячной, съёмки, воспринимаемые на построенных картах как одномоментные данные, на самом деле будут являться только «следами движущихся вихрей»; т.е. для корректной верификации и валидации космических данных необходимо сокращать сроки съёмки, что при традиционных методиках возможно только за счёт уменьшения числа измеряемых параметров. Однако экосистемный подход, на-

оборот, требует отбора большого объёма проб для определения всех видов планктона, биохимических показателей органического вещества, загрязнений и т.д. Это противоречие мы предложили разрешить следующим образом: основная съёмка проводится буксируемым комплексом, а в точках смены галсов и в местах выявленных аномалий выполняются зондирования СТД-зондом и отбор проб для всех анализов [Левашов, Сапожников, 2000б].

При отработке такой технологии в экспедиции удалось провести сравнение (рис. 3) традиционной и предлагаемой методик [Михейчик и др., 1997]. Например, на съёмку одного из полигонов, выполненную на первом этапе только с помощью зонда, было затрачено более трёх суток, а её повторение буксируемым комплексом не заняло и одних суток.

Полная же съёмка территориальных вод от Анапы до Адлера с применением новой технологии была проведена всего за трое суток. При этом за счёт оперативного выявления наиболее информативных точек во время буксировок, число необходимых зондовых станций было сокращено в 3–4 раза по сравнению с традиционной методикой. Кроме того, благодаря данным буксируемого комплекса удалось не только выделить мезо- и микромасштабные вихревые структуры на картах, но и непосредственно наблюдать на разрезах пульсацию верхней границы распреснённых и более холодных вод при их погружении под основное черноморское течение. Например, на рис. 4 представлен пример одного из полученных разрезов (при этом последовательность точек измерений на графиках прекрасно иллюстрирует синусоидальный характер траектории движения ондулятора).

Анализ же распределения температуры, солёности и хлорофилла на этом разрезе, перпендикулярном берегу Чёрного моря, показал, что от уреза до 4–5 миль от берега существует Вдоль-береговое противотечение (ВБПТ), направленное в противоположную сторону от Основного Черноморского течения (ОЧТ) [Романов, Сапожников, 1997]. Это течение (ВБПТ) на всём протяжении прибрежных вод около кавказских берегов от Анапы до Батуми впервые было зафиксировано ещё в 24-м рейсе НПС «Академик Книпович» [Сапожников, 1992]. Однако только использование новой

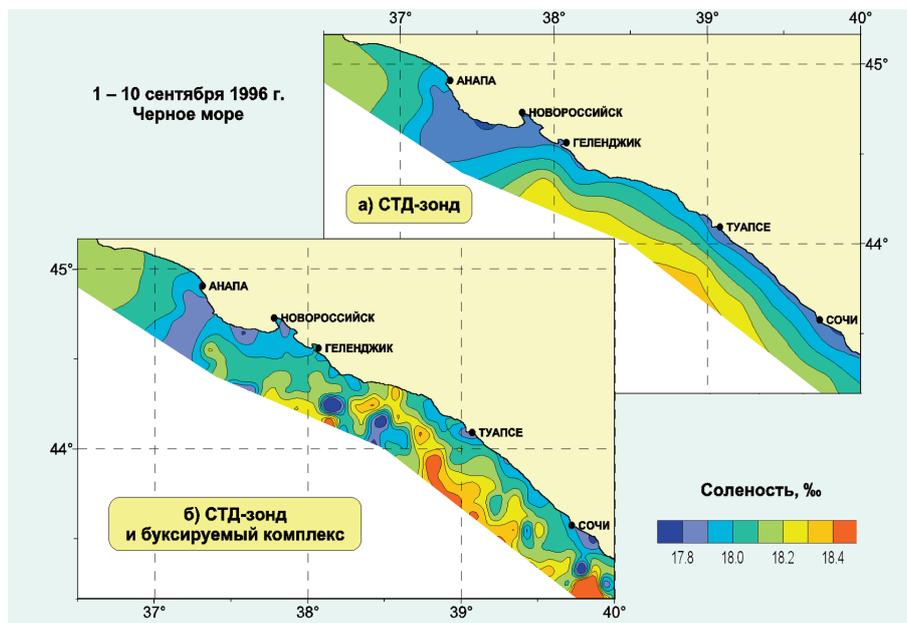


Рис. 3. Поля распределения солёности на глубине 20 м:
 а — по данным зонда; б — дополненные данные буксируемой аппаратуры

технологии съёмки с ондулятором Aquashuttle в рейсе на НИС «Южморгеология» [Романов, Сапожников, 1997] позволило оценить пространственное распределение ВБПТ от берега и понять, что оно несёт более холодные, но менее солёные воды, которые за счёт боковой турбулентной диффузии затем распространяются под водами ОЧТ.

Это течение хорошо прослеживается от Керченского пролива до Батуми. Сначала предполагалось, что менее солёные воды вдоль берега образуются за счёт стока многочисленных рек, впадающих в Чёрное море на кавказском побережье. Однако от Анапы до Керченского пролива нет ни одной реки, а ВБПТ существует, и воды пониженной солёности (16–15 ‰) наблюдаются вдоль Бургазской косы. Выяснилось, что это трансформированные воды Азовского моря, которые отбрасываются на восток под действием квазистационарного антициклонического вихря, который локализуется южнее Керченского пролива. В осеннее время, когда проводилась съёмка на НИС «Южморгеология», прибрежные воды ВБПТ были холоднее окружающих вод, однако летом они могут быть аномально теплыми и на траверсе Геленджика могут иметь солёность до 18 ‰, так что низкая солёность не является постоянным признаком ВБПТ.

Сравнительный анализ результатов применения буксируемой и зондирующей систем показал, что их совместное использование, с одной стороны, позволяет более корректно строить карты распределения параметров водной среды в слое 0–50 м, а с другой — минимизировать динамические погрешности буксируемого измерителя, используя данные, полученные на станциях зондирующей аппаратурой.

С экономической точки зрения, в результате использования ондулятора в экспедициях возможно провести фоновую съёмку за значительно меньшее время, чем с применением обычных методов. Таким образом, кроме минимизации влияния временной изменчивости на данные съёмки, можно достичь значительной экономии времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Внедрение новой технологии в масштабах отрасли, кроме повышения качества исследований, может дать ощутимый экономический эффект в результате сокращения продолжительности фоновых съёмок при поисковых работах в 1,5–2 раза. Причём буксируемый носитель может окупиться в первом же рейсе: если считать среднюю стоимость экспедиционных судов-суток равной \$ 5 тыс., то стоимость буксируемого комплекса эквивалентна примерно 15 суткам.

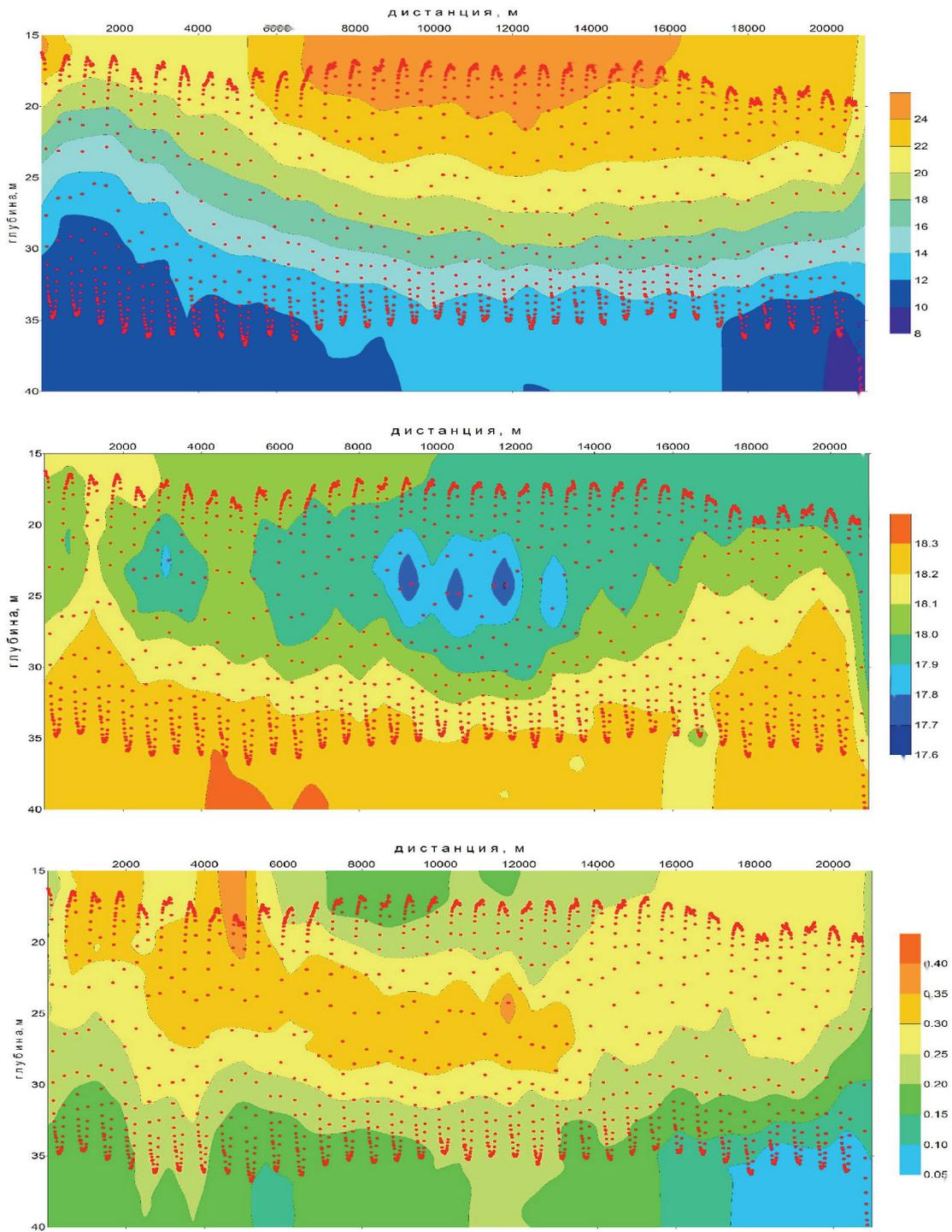


Рис. 4. Вертикальное распределение на разрезе, построенном по данным ондулятора Aquashuttle Mk III (красным цветом выделены точки измерений на траектории движения ондулятора):
а — температура, *б* — солёность, *в* — хлорофилл «а»

Например, по результатам фоновых съёмки, проведенных по новой технологии в июле—августе 1997 г. на НИС «Академик Борис Петров» [Романов, Сапожников, 1998] в открытой части Норвежского моря были получены гидрологические данные о наиболее благоприятной обстановке для выхода промысловых скоплений скумбрии, что позволило дать своевременные конкретные рекомендации добывающим судам [Романов, 1998]. По результатам их тралений руководство промыслом высоко оценило работу экспедиции.

С научной точки зрения, главным результатом применения ондулятора можно считать то, что с появлением буксируемых устройств ондуляторного типа постепенный количественный рост и совершенствование инструментальных методик дают качественный скачок — в отрасли формируется новая технология экспедиционных исследований [Сапожников, Левашов, 2000]. При экспресс-съёмке промысловых районов на больших акваториях использование ондулятора позволит полностью заменить традиционную методику выполнения полной сетки океанографических станций. В других случаях информация, полученная с помощью ондуляторов, может служить в качестве целеуказания мест проведения отдельных станций для более детальных исследований по расширенному спектру параметров.

Также здесь следует отметить, что в рейсе НПС «Академик Книпович» 1989 г. [Сапожников, 1992] были зарегистрированы вихревые структуры малого радиуса (площадью примерно 10×30 км), которые никогда ранее не регистрировались при работе на станциях кроссфронтальных разрезов. При использовании новой технологии съёмки с применением ондулятора они безусловно были бы зафиксированы. Также интересно было бы зафиксировать таким образом тонкую структуру распреснённых «блюдца», которые образуются при захвате антициклоническим вихрем «языка» распреснённых вод от речного устья.

Одним словом, новая технология съёмки позволяет не только планировать эксперимент, но и управлять им в процессе исследований, с полным пониманием сути явлений; т.е. в промысловой океанологии осуществился переход на принципиально новый, более высокий уровень

исследований. Сейчас, на основании полученных нами результатов, ондуляторы аналогичного типа — Nu-Shuttle (см. рис. 1,в) внедряются на научно-промысловых судах СахНИРО и ТИНРО-Центра.

ЛИТЕРАТУРА

- Левашов Д.Е. 1999. «АКВАШАТЛ» — следующий этап инструментального обеспечения отраслевых НИС // Рыбн. хоз-во. № 6. — С. 42—44.
- Левашов Д.Е., Михайчик П.А. 1999. Некоторые методические аспекты эксплуатации буксируемого океанологического комплекса АКВАШАТЛ // Тез. докл. XI Всерос. конф. по промысловой океанологии. Калининград, 14—18 сент. 1999 г. — М.: Изд-во ВНИРО. — С. 148—149.
- Левашов Д.Е., Сапожников В.В. 2000а. Новая технология фоновых съёмки // Рыбн. хоз-во. № 2. — С. 31—33.
- Левашов Д.Е., Сапожников В.В. 2000б. Современная технология проведения комплексных океанологических исследований в рыбохозяйственных целях // Океанология. Т. 40, № 2. — С. 298—303.
- Левашов Д.Е., Сапожников В.В., Жаворонков А.И., Воронков А.П. 1997а. Анализ современного состояния зондирующей и буксируемой океанологической аппаратуры (итоги международной выставки «Oceanology International-96») // Океанология. Т. 37, № 1. — С. 155—160.
- Левашов Д.Е., Сапожников В.В., Жаворонков А.И., Воронков А.П. 1997б. Современная океанологическая аппаратура для рыбопромысловых исследований // Рыбн. хоз-во. № 1. — С. 23—29.
- Мельников В.Н., Лукашов В.Н. 1981. Техника промышленного рыболовства. — М.: Легк. и пищ. пром-сть. — 312 с.
- Михайчик П.А., Столярский С.И., Буланов В.В., Левашов Д.Е. 1997. Опыт работы с буксируемым по синусоидальной траектории комплексом океанологических измерителей // III Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований»: Тр. конф. — М.: ИОРАН. — С. 110.
- Романов А.А. 1998. Результаты научно-производственного эксперимента «Норвежское море '97» // Рыбн. хоз-во. № 4. — С. 33—35.
- Романов А.А., Сапожников В.В. 1997. Комплексный подспутниковый эксперимент в Чёрном море (НИС «Южморгеология», 1—10 сентября 1996 г.) // Океанология. Т. 37, № 5. — С. 792—797.
- Романов А.А., Сапожников В.В. 1998. Комплексный научно-производственный эксперимент в Норвежском море с использованием космических, авиационных и судовых средств (НИС «Академик Борис Петров», 2 июля—1 августа 1997 г.) // Океанология. Т. 38, № 3. — С. 466—472.
- Сапожников В.В. 1992. Экологическое состояние прибрежной зоны Чёрного моря // Экология прибреж-

- ной зоны Чёрного моря.— М.: ОНТИ ВНИРО.— С. 330.
- Юдович Ю.Б. 1974. Промысловая разведка рыбы.— М.: Изд-во Пищ. пром-сть.— 240 с.
- Levashov D.* 1996. Aquashuttle MkIII equipped with a novel optical plankton counter will investigate biological productivity in the fishery areas of the Okhotsk Sea // Undulations. N. 6.— P. 8.

Поступило в редакцию 11.08.11 г. Принято после рецензии 23.01.12 г.

The Black Sea as a polygon of working off new technology of oceanological surveys

D.E. Levashov, V.V. Sapozhnikov

Russian Federal Research Institute of Fisheries & Oceanography (VNIRO)

At VNIRO the world's first in practice of national fisheries oceanology the technology of polygon's surveys with the help of towed on sinusoidal track carrier of sea water parameters meters, such as Aquashuttle, was worked out. Approbation of the undulator and working off the methodic of its using were fulfilled in VNIRO cruise in 1996 on the board of R/V «Yuzhmorgeologia» in the Black Sea together with the conducting of satellite experiment. Stations have been made very operatively with using of the probing complex on CTD base and cassette bathometer in the points, which were revealed by the undulator and were of particular interest. It allowed not only assign mezo- and micro-scaled whirling structures on investigated polygon, but significantly to reduce the period of survey. The developed methodic has been used during further fisheries investigations.

Key words: vertical probing, towed vehicle, undulator, methodic, polygon.