

Несовместимость временных масштабов процесса исследования и изменчивости объекта исследования — одна из самых больших проблем методологии фоновых съемок при поисковых работах. В зависимости от размеров акватории съемка по стандартной сетке станций может длиться 1–2 мес., поэтому построенные поля распределения исследуемых параметров будут отражать не только пространственные неоднородности, но и их временную изменчивость, масштаб которой может свести на нет все усилия по проведению съемки.

Продолжительность фоновой съемки ($T_{\text{фс}}$) зависит от длительности проведения станции ($T_{\text{ст}}$), их числа ($N_{\text{ст}}$) и времени перехода между станциями ($\Sigma T_{\text{пер}}$):

$$T_{\text{фс}} = T_{\text{ст}} N_{\text{ст}} + \Sigma T_{\text{пер}} \quad (1)$$

или

$$T_{\text{фс}} = (T_{\text{ст}} + L_{\text{пер}}/V) N_{\text{ст}}, \quad (2)$$

где $L_{\text{пер}}$ — расстояние между станциями; V — скорость судна.

Попытаемся оценить реальные значения этих величин и их долю в общей продолжительности фоновой съемки. Если взять средние значения и стандартные методики промразведки (Ю.Б. Юдович, 1974), то $T_{\text{ст}} = 2...4$ ч (сюда могут входить: гидрологическая серия с отбором проб на гидрохимию, отбор проб сетного фитопланктона и то же самое для зоопланктона), $L_{\text{пер}} = 20...40$ миль, $V = 10$ уз. Получается, что время, затрачиваемое на проведение станций, примерно равно продолжительности переходов между станциями. Простое уменьшение времени на станцию или увеличение расстояния между ними (сокращение числа станций) снижают информативность съемки, а увеличение скорости судна (при сокращении времени между станциями) отрицательно влияет на полноту обработки взятых проб и требует большего числа научного персонала.

Реальный способ сокращения продолжительности работ на станции без ущерба их информативности — использование зондирующей аппаратуры (СТД-зонды), позволяющей получать профили вертикального распределения температуры и солености (электропроводности). Часто в состав зондов входят датчики таких параметров, как кислород, pH, освещенность и т.п. Что касается биотических факторов среды, то включение в состав зонда флуориметра позволяет судить о вертикальном распределении фитопланктона, а новый датчик “ТРАП-6” — проводить оценку размерно-количественных характеристик мезопланктона (Д.Е. Левашов, П.А. Михейчик, А.П. Воронков, 1997). Использование во время зондирования кассет с батометрами дает возможность отбора проб на интересующих горизонтах для гидрохимического анализа и исследования микророботки. Такой комплекс, охватывая полный спектр параметров, необходимых для оценки биопродуктивности водных

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОНОВЫХ СЪЕМОК

Д.Е. Левашов, В.В. Сапожников — ВНИРО

масс, позволяет сократить длительность проведения станции до времени проведения одного зондирования. Например, при глубине зондирования в 1000 м и его скорости в 1 м/с это составит примерно 30–40 мин или, используя выражение 1, — можно уменьшить общую продолжительность съемки на 35–40 %.

Развитие методов аналитической гидрохимии и внедрение в практику экспедиций современных гидрохимических анализаторов (ТОС-500, AlpKem, Technoson) и других автоматизированных приборов привело к сокращению времени для обработки проб, отобранных на станциях. Свой вклад в этот процесс вносят вычислительная техника и специализированное программное обеспечение. В результате, значительно снижаются требования к методическим пределам увеличения скорости судна V из выражения 2.

Перечисленные методы, кроме сокращения времени и трудоемкости экспедиционных работ, повысили их эффективность, но к сожалению, качественные результаты не влияют на длительность фоновой съемки, и для решения проблемы нужны принципиально другие методические подходы.

Опыт буксировки измерителей поверхностной температуры, а также разовое использование систем прокачки забортной воды на ходу судна, например комплекса “Проток”, состоящего из каскадов гидрохимических датчиков и гидробиологического зонда “ТРАП-4” (Д.Е. Левашов, С.С. Владимирский, 1988 г.), показывают, что это верный путь в решении проблемы. Однако так можно только отслеживать поверхностное отражение таких явлений, как, например, фронтальные зоны, не позволяя оценить их глубинное содержание, где, собственно, и происходят процессы формирования биопродуктивности водных масс.

Кардинальным решением была бы реализация возможности получения всей необходимой информации на ходу судна до глубины, охватывающей всю эвфотическую зону. До сих пор это было связано со значительными техническими и эксплуатационными трудностями, хотя во ВНИРО такие попытки предпринимались. В 70-е годы была разработана буксируемая коса “Сейнер”, представляющая собой гирлянду термодатчиков (до 20 шт.), которая позволяла получать данные до глубины 100 м на соответствующем числе горизонтов. Коса прошла успешные испытания и даже использовалась при разведке анчоусовидной кильки в Каспийском море. Хотя сегодня

существует подобная коса с СТД-датчиками (Д.Е. Левашов и др., 1996), но в настоящих экономических условиях широкое распространение таких довольно дорогих систем весьма проблематично.

Сегодня наиболее динамично развивающимся направлением в методике океанологических исследований является использование буксируемых по волнообразной (синусоидальной) траектории носителей или ондуляторов. Поочередно всплывая к поверхности и погружаясь до заданной глубины, комплекс океанологических датчиков, установленных на ондуляторах, позволяет получать на ходу судна практически непрерывные разрезы по соответствующим параметрам. С одной стороны, появляется реальная возможность уменьшения числа станций ($N_{\text{ст}}$) без снижения общей информативности, а с другой — увеличение расстояний перехода ($L_{\text{пер}}$) снимает лимит на возможность роста скорости (V) исследовательского судна, не входя в противоречия с объяснениями к выражению 2.

Для оценки возможностей применения новых методов в промысловых исследованиях ВНИРО был приобретен буксируемый комплекс на базе ондулятора Aquashuttle Mk III (“АКВАШАТЛ”, подробнее см. “Рыбное хозяйство, 1999 г., № 6, с. 42). При буксировке на обычном одножильном кабельтросе и скорости судна от 8 до 20 уз этот комплекс позволяет получать в реальном масштабе времени непрерывное вертикальное распределение до глубины 80 м таких параметров, как температура, соленость, кислород, pH, еН и хлорофилл “а”.

Наиболее наглядным примером эффективности применения буксируемого комплекса в экспедициях ВНИРО стали полигонные съемки, связанные с отработкой методики верификации спутниковых данных. Необходимость более глубокого понимания реальных океанографических явлений (вихри, фронтальные зоны), наблюдаемых со спутника, требует выполнения съемок подспутниковой акватории за минимальное время. В противном случае, результаты обычной, например месячной съемки, воспринимаемые на построенных картах как одномоментные данные, на самом деле будут только “следами движущихся вихрей”. Для корректной верификации и валидации космических данных необходимо сокращать сроки съемки, что при традиционных методиках возможно только за счет уменьшения числа измеряемых параметров. Однако экосистемный подход требует не только его увеличения, но и отбора большого объема проб для оп-

ределения фито-, зоо- и бактериопланктона, биохимических показателей органического вещества, загрязнений и т.д. Это противоречие мы предложили разрешить следующим образом: площадную съемку осуществлять буксируемым комплексом, а в точках смены галсов и местах выявленных аномалий выполнять зондирование СТД-зондом и отбирать пробы на все анализы.

Предварительная отработка такой технологии была осуществлена в десятидневном рейсе на НИС "Южморгеология" в Черном море при проведении подспутникового эксперимента (А.А. Романов, В.В. Сапожников, 1998 г.). Помимо основных работ экспедиция позволила сравнить традиционную и предлагаемую методики. Например, на съемку одного из полигонов, выполненную на первом этапе только с помощью зонда, было затрачено более трех суток, а ее повторение буксируемым комплексом не заняло и суток. Полная же съемка территориальных вод от Анапы до Адлера с применением новой технологии была проведена всего за трое суток. При этом, за счет оперативного выявления наиболее информативных точек во время буксировки число необходимых зондовых станций было сокращено в 3–4 раза по сравнению с традиционной методикой. Благодаря информации буксируемого комплекса удалось выделить мезо- и микромасштабные вихревые структуры. В качестве примера приведем поля распределения солёности на глубине 20 м, причем первое (а) построено только по данным зонда, а второе (б) дополнено данными буксируемой аппаратуры (рис. 1).

Апробация новой технологии исследований была проведена в экспедиции на НИС "Академик Борис Петров" в июле 1997 г. во время комплексного научно-про-

изводственного эксперимента по информационной поддержке промысла скумбрии с использованием авиакосмических и судовых средств (А.А. Романов, 1997; А.А. Романов, В.В. Сапожников, 1998). Исследуемый район — открытая часть Норвежского моря, где в июле-августе промышляют скумбрию. Сроки ее выхода зависят от термического режима, а наиболее плотные концентрации образуются на участках с максимальными горизонтальными градиентами температуры. Основная задача экспедиции — оценка мезомасштабной изменчивости гидрологических полей в этом районе, а в связи с нагульным характером рыбных миграций, — оценка биопродуктивности промыслового района.

Повышенная динамическая активность района обусловила применение буксируемого комплекса как главного инструмента для осуществления фоновой съемки. Буксировку проводили на скорости 9–11 уз. При этом толщина сканируемого слоя составляла 40–50 м, а изменяя на ходу судна длину троса в пределах 200–500 м, можно было подводить верхнюю границу слоя почти к самой поверхности воды или его нижней границей достигать глубины 85 м. Так как скумбрия в исследуемом районе держалась в верхнем 50-метровом слое, не опускаясь при этом ниже термоклина, выбранная методика буксировки оптимальным образом подошла для съемки вдоль фронтальной зоны, образуемой Западной ветвью Норвежского течения (ЗВНТ).

Что касается работ на выбранных станциях, то с помощью комплекса, состоящего из СТД-зонда (Mark-IIIВ — "Neil Brown") и кассеты батометров, осуществляли зондирование до глубины 1000 м. Пробы для биологических и гидрохимических исследований отбирали со следую-

щих горизонтов: 1000 м — глубинная водная масса; 500 м — атлантическая водная масса; 350 м — смешанные воды; 80–150 м — ядро атлантических водных масс, а также на горизонтах экстремальных значений вертикальных профилей кислорода и флуоресценции хлорофилла "а" для верхнего 100-метрового слоя. Станции выполняли на краях галсов, а также по обоим сторонам фронтальной зоны.

При проведении фоновой съемки основного полигона буксируемым комплексом было выполнено семь галсов длиной 110–220 миль каждый, а зондирующим — 27 станций.

Анализ вертикального распределения хлорофилла на разрезах, полученных по данным непрерывной регистрации, позволил выявить тонкую структуру и мелкие неоднородности в его распределении в водной толще. Сравнение данных непрерывной регистрации температуры и результатов промысловых уловов показало, что выход скумбрии имел место в пределах хорошо выраженного теплого затора вод ЗВНТ. Наглядной иллюстрацией описываемых процессов является разрез вдоль галса № 2 (рис. 2).

По результатам фоновых съемок была выбрана область для микрополигона, которая захватывала район промысла скумбрии и участок фронтальной зоны на границе норвежской экономической зоны, перпендикулярно пересекающие стержень ЗВНТ. Здесь было выполнено 11 галсов буксируемой аппаратурой и 13 станций. При проведении этой съемки получены гидрологические данные о наиболее благоприятной обстановке для выхода промысловых скоплений, что позволило дать своевременные конкретные рекомендации добывающим судам. Результаты их тралений послужили руководством промыслом основанием высоко оценить работу экспедиции.

В этой экспедиции был применен новый подход в оценке пространственного распределения первичной продукции (ПП). Так как лимит времени не позволял определять ПП in situ на каждой станции, буксируемым комплексом отслеживали районы с характерной стратификацией вертикального распределения хлорофилла "а". Для каждого района выбирали станцию, на которой определяли ПП in situ и рассчитывали величины ассимиляционных чисел с использованием данных по хлорофиллу для соответствующих горизонтов по информации СТД-зонда на этой станции. Полученные числа использовали при восстановлении значений ПП для аналогичных горизонтов на остальных станциях этого района на данным зонда о хлорофилле. Таким образом, по реальным данным ПП in situ на восьми станциях были построены поля распределения ПП для всего полигона.

Безусловно, все возможности новой технологии экспедиционных исследований невозможно раскрыть на примере одной, хотя и хорошо спланированной, но короткой экспедиции с конкретной задачей. Так,

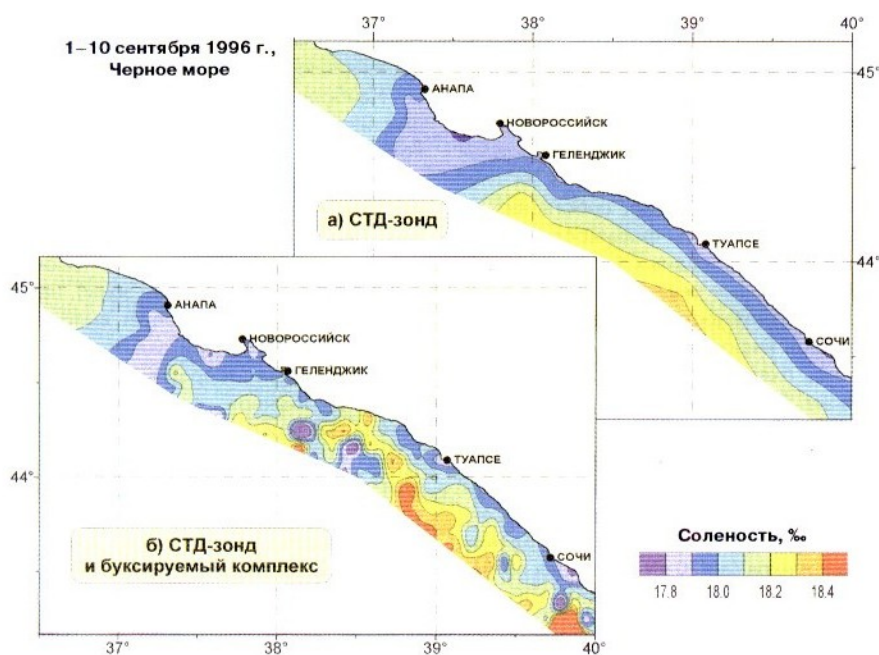


Рис. 1. Поля распределения солёности на глубине 20 м

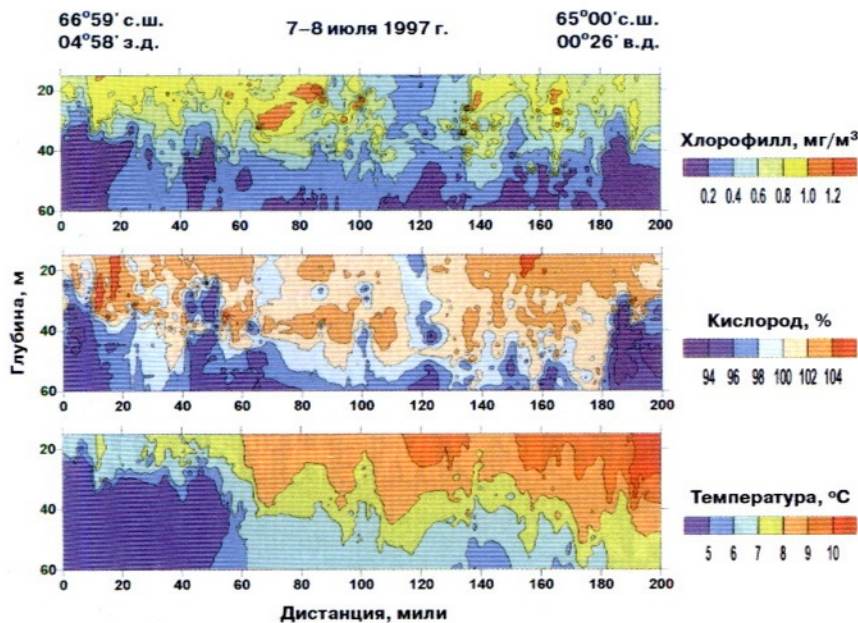


Рис. 2. Разрез вдоль галса № 2

в рамках предлагаемой технологии можно было бы использовать построенные по данным буксируемого комплекса карты распределения температуры и pH для расчета ПП по методу Вейхarta (1980), а восстановленные поля P, NO₃ и Si позволили бы использовать также и эти параметры.

Разъясним эту методику подробнее, используя в качестве модели подобную работу, выполненную в зоне апвеллинга вдоль побережья Перу (Walsh J.J. et al., 1971). Удаляясь от берега, поверхностный слой на определенной дистанции прогревается от 15,5 до 17,5 °C. Так как за сутки он прогревается на 0,2 °C, то время (T), за которое поверхностные воды проходят всю дистанцию, составит 10 сут. При этом концентрация фосфатов (K_P = 1) уменьшается с 2,5 до 1,5 мкг-ат/л (ΔP = 1), нитратов (K_N = 16) — с 20 до 10 мкг-ат/л (ΔN = 10), а кремния (K_{Si} = 23) — с 20 до 5 мкг-ат/л (ΔSi = 15). Можно легко подсчитать ПП₃ одного из перечисленных элементов на рассматриваемой дистанции по следующей формуле:

$$ПП_3 = (\Delta \Sigma \times 106 \times 12 \times K_3) / T.$$

Для фосфатов, нитратов и кремния это составит соответственно 127,2, 79,5 и 82,9 мг C_{орг}/м³ в сут. Для определения ПП во всем эвфотическом слое, который в рассматриваемом случае имел толщину 20 м, умножим полученные величины на его толщину и получим: ПП_P = 2,5, ПП_N = 1,59 и ПП_{Si} = 1,66 г C_{орг}/м² в сут.

Подобные работы на небольшой акватории можно выполнять и без применения буксируемых измерителей. Подробные микросъемки, выполненные ВНИРО по предлагаемой методике на шельфе Сахалина в районах предполагаемой добычи нефти и газа, позволили не только выделить систе-

му сопряженных вихрей, но и рассчитать ПП в системе циркуляции от прибрежного циклона до антициклона над свалом глубин (А.К. Грузевич, В.В. Сапожников, Н.В. Аржанова, 1996).

Неотъемлемой частью новой технологии экспедиционных исследований является метрологическое обеспечение измерителей основных параметров морской воды. Именно температура, электропроводность и гидростатическое давление определяют точность вычисления не только таких параметров, как соленость, плотность, вертикальная устойчивость, температура замерзания, скорость распространения звука, показатель преломления света, но и многих других, в том числе связанных с упомянутыми выше методами аналитической гидрохимии. При этом, чем выше уровень аналитической обработки результатов наблюдений или восстановления данных, тем более высокие требования предъявляются к точности первичной информации.

Еще при внедрении первых СТД-зондов в практику рыбохозяйственных исследований во ВНИРО было обращено особое внимание на их калибровку, так как без нее даже самый хороший зонд всего лишь кусок железа. Тогда же было положено начало созданию калибровочного комплекса, который сегодня находится на уровне требований, предъявляемых к образцовым средствам обеспечения измерений основных параметров морской воды (А.Н. Рамазин, В.В. Буланов, Д.Е. Левашов, 1998). Сейчас вся океанологическая аппаратура, отправляемая в экспедиции, в обязательном порядке проходит полную поверку этим комплексом, причем после экспедиции — повторно. Это относится к аппаратуре и отраслевых институтов, и бассейновых промразведок, а также сторонних организаций, отправляемой в экс-

педиции по международным проектам, где требуется обязательная метрологическая аттестация. Своеобразным признанием высокого уровня метрологической аттестации, проводимой ВНИРО, является то, что по рекомендации Научного совета по ГНТПР "Комплексные исследования океанов и морей, Арктики и Антарктики", Миннауки России определило институт в качестве головной организации по калибровке средств измерения основных параметров морской воды повышенной точности. Развивая это направление, ВНИРО совместно с французским научным центром "ИФРЕМЕР" участвует в международном проекте по созданию единых методик калибровки океанологических датчиков.

Внедрение в практику рыбохозяйственных исследований новых средств измерений in situ и повышение уровня их метрологического обеспечения, а также совершенствование аналитических методов морской экологии значительно повысили информативную эффективность экспедиционных работ. Однако только с появлением буксируемых устройств типа "АКВАШАТЛ" стал возможен качественный методологический скачок, причем с одновременным резким сокращением продолжительности и трудоемкости экспедиций. Все это вместе привело к тому, что в отрасли начала формироваться новая технология экспедиционных исследований, в промысловой океанологии осуществился переход на принципиально другой уровень исследований.

С экономической точки зрения новая технология проведения фоновых съемок при поисковых работах позволяет сократить их продолжительность в 1,5–2 раза. В частности, если считать среднюю стоимость экспедиционных судов-суток эквивалентной 5 тыс. долл. США, то использование буксируемого носителя окупается в первом же рейсе благодаря сокращению его продолжительности на 15 сут. Таким образом, внедрение новой технологии в масштабах отрасли кроме повышения качества исследований может дать ощутимый экономический эффект.

D.Ye. Levashov, V.V. Sapozhnikov. New practice in surveys

Surveys conducted over standard series of stations do not allow to estimate faithfully the spatial distribution of parameters under investigation because of their temporal variability. Utilization of CTD-probes and another modern equipment improves the quality of survey but cannot shorten appreciably its duration. Utilization of undulators forms the basis for a new survey practice. Operation at the stations is conducted only while changing the tack and in the regions of anomaly emerged. New practice in using the undulator Aquashuttle was evaluated during survey in the Norwegian Sea fishing area. New methodology and instrumental approach in estimation of primary production were used during the expedition. The results obtained allow to give research vessels the specific recommendations.