
*В. Г. Богоров, С. В. Бруевич, М. В. Федосов,
Г. Б. Удинцев*

О МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНОВ В СССР

В результате океанологических работ, проведенных по планам Международного геофизического года, появился разносторонний опыт организации исследований на всей обширной акватории Мирового океана.

В отличие от работ, проводимых в морях, исследование в океане отличается длительностью, большой комплексностью и необходимостью первичной обработки материалов на борту корабля. Все это прежде всего сказывается на характере корабля и его оборудовании. Опыт советских исследований убеждает в необходимости проведения исследований океанов со специальных экспедиционных судов большого тоннажа (более 3000 т). Работа на случайных судах не дает возможности иметь большое количество квалифицированных ученых и вспомогательный персонал, там нельзя развернуть необходимые для обработки материалов лаборатории и т. д.

В Советском Союзе в работах по планам МГГ в океанах участвовали специальные экспедиционные суда: «Витязь» водоизмещением 5500 т (Тихий океан), «Михаил Ломоносов» водоизмещением 5800 т (Атлантический океан), ледокольное судно «Обь» водоизмещением 12 000 т (Антарктика и Индийский океан). Кроме того, обширные работы проводились и на других судах. Специальные суда оборудованы лебедками, позволяющими проводить исследования до дна, в том числе тралить и становиться на якорь при любой глубине океана. Глубоководная якорная и траловая лебедки имеют на палубе устройства для спуска и подъема, а в трюме барабаны с тросом.

Опыт океанских экспедиций показал, что для проведения комплекса исследований необходимо иметь около 60 научных и вспомогательных работников, помимо экипажа. Соответственно этому на борту должны быть следующие лаборатории: метеорологическая и аэрологическая, гидрологическая, гидрохимическая, геохимическая, радиометрическая, геологическая, сейсмо-акустическая, бактериологическая, планктонная, ихтиологическая, бентосная.

Метеорологические и аэрологические исследования предусматривают проведение также актинометрических работ, зондирование верхних слоев атмосферы, а также приводных слоев, синоптические работы. Необходимо шире поставить ракетные исследования стратосферы, а также введение новых автоматических приборов, регистрирующих метеорологические элементы (с применением радио- и электронной аппаратуры).

Гидрологические исследования проводятся в океане на станциях до

дна и на подвесных станциях до 2000 м. Соотношение этих станций примерно 1 : 5 в зависимости от района и задач исследований. Определяются температура, плотность, соленость, скорость и направление течений, прозрачность и цвет, элементы волны, акустические и оптические характеристики океанских вод. Для измерения всех указанных характеристик не только в точках исследований, но и на всей глубине от поверхности до дна нужна автоматическая электронная аппаратура. Следует также организовать синхронные работы с нескольких кораблей.

Необходимо улучшение исследований при помощи непрерывной записи гидрологических характеристик на ходу корабля до значительной глубины от нуля до 250 и до 500 м. Существенным будет переход (или корректировка) от взятия проб воды со стандартных горизонтов к работам, связанным с природным распределением водных масс, получаемых при непрерывном зондировании всей водной толщи от поверхности до дна. Значение работ в естественных слоях превосходит потребности только гидрологии и важно для правильного понимания химии и биологии океана.

Гидрохимические определения осуществляются по стандартной методике, охватывающей следующие определения.

1. Соленость (в %) — стандартная методика Мора-Кнудсона.
2. pH: а) колориметрическое определение с борноборатными буферными растворами Палича с вычислением согласно Буху; приведение pH к форме pH_N (в СССР — к pH_B и pH_O); б) потенциометрическое определение со стеклянным электродом (факультативно).
3. Щелочность: а) прямое алкалометрическое титрование 25 мл морской воды 0,02 N соляной кислотой со смешанным индикатором (метилловый красный плюс метиловый голубой или бром крезоловый зеленый); б) обратное титрование по Ваттенбергу (факультативно).
4. Растворенный кислород — по Винклеру.
5. Аммиак — по модифицированному методу Ваттенберга, колориметрически.
6. Нитриты — по Грису-Илосваю, колориметрически.
7. Нитраты — по Аткинсу, колориметрически, с дифенилбензидином.
8. Фосфаты — по Дениже-Аткинсу, колориметрически, со стандартом на морской воде той же солености; фосфаты из стандартной морской воды удаляются путем коагуляции с азотнокислым железом или в адсорбционной колонке с прокаленной Al_2O_3 .
9. Кремний — по Дизнеру и Ванденбульке, колориметрически, со стандартом на морской воде той же солености; кремнекислота удаляется из стандартной морской воды путем фильтрования через прокаленную окись алюминия.

Определения фосфатов и кремнекислоты свободны от солевых ошибок.

Помимо указанных выше так называемых «стандартных определений», производящихся на всех стандартных горизонтах, по мере возможности производятся определения окисляемости морской воды, биохимической потребности в кислороде, определения железа, марганца, форм серы и др. органических соединений углерода, фосфора и азота. В последнее время ставятся методы определения других микроэлементов.

Техническими приемами колориметрирования являются колориметрирование в цилиндрах Генера, в электрофотоколориметрах, в спектрофотометрах и пр. Результаты колориметрирования свободны от солевых ошибок.

Химическое изучение гидросферы океана распространяется ниже дна океана, в область грунтовых растворов (interstitial waters), в которых производятся почти все те же определения, что и в самой морской воде.

Советские химики отказались полностью от методов водных вытяжек из грунта и выделяют грунтовые растворы методом отпрессовывания осадка в специальных «прессформах» по принципу Бриджмена и Крюкова. Реже применяется с этой целью фильтрация или центрифугирование. Изучение химии грунтовых растворов тесно связано с изучением физических и химических свойств твердой фазы осадков и имеет главной целью изучение процессов диагенеза осадков.

Химия океанской гидросферы увязывается также с химией атмосферы, химией метеорных осадков и обменом углекислым газом между атмосферой и океаном. Эти работы находятся еще в стадии становления.

Помимо указанных определений, проводятся также радиометрические и радиохимические исследования морских вод, атмосферных осадков, донных отложений и организмов. Геологические исследования проводятся для выяснения строения земной коры в районе океанов, рельефа дна, осадкообразования и геологических особенностей для других разделов океанологии. В настоящее время технические возможности исследований дна океанов таковы, что можно говорить о пяти основных направлениях в его геологическом изучении: исследования подводного рельефа путем эхолотирования, фотографирование дна, геофизические исследования дна (сейсмозондирование, гравиметрические и магнитометрические исследования), сбор и изучение проб донных отложений и коренных пород ложа океана, сбор и изучение проб атмосферной и водной взвеси, как исходного материала для образования донных отложений. В работах советских океанологов получили развитие и применение все перечисленные направления. Применяемая при этом методика имеет следующие особенности.

Основным методом изучения подводного рельефа является эхолотирование. Наилучшие результаты дает использование набора эхолотов с рабочими частотами 5—40 кгц. Использование эхолотов высоких мощностей позволяет изучать слоистость верхней толщи донных отложений.

Исследования донных отложений и коренных пород советские морские геологи проводят различными приборами. Таковы дночерпатели (для сбора крупнообъемных поверхностных проб), грунтовые трубки (для получения длинных монолитов — колонок), тралы и драги, позволяющие собирать с поверхности дна большие пробы грубообломочного материала и обломки коренных пород. Наиболее распространенным типом дночерпателя является дночерпатель «Океан-50» с площадью захвата 0,25 м².

Для взятия колонок донных отложений используют грунтовые трубки четырех основных типов: ударные прямоточные, поршневые, гидростатические, вибропоршневые. Применение того или иного типа трубок определяется задачами и условиями исследований. Ударные прямоточные трубки самые простые в использовании, но дают наименее хорошие результаты. Поэтому такие трубки (наиболее распространена конструкция Сысоева и Кудинова) используются обычно в наиболее сложных условиях. Поршневые трубки позволяют получить наилучшие результаты на илистых грунтах. Используется трубка конструкции Сысоева и Кудинова, при помощи которой получены колонки длиной до 17,5 м (в Японском море), рамная трубка ПТР-57, дающая возможность одновременно со сбором колонок получать пробы придонной воды и определять значения температур по горизонтам придонного слоя, а также трубка большого диаметра «Антарктида» (диаметр до 200 мм), обеспечивающая сбор проб больших объемов. Гидростатическая трубка конструкции Сысоева и Кудинова дает возможность получать наиболее длинные колонки донных отложений. При помощи этой трубки были взяты рекордные колонки длиной до 33,6 м (в Охотском и Беринговом морях). Все названные выше трубки дают хорошие результаты лишь на глинистых и алевритовых илах.

Для сбора колонок песчаных и гравелистых осадков на шельфах используется вибропоршневая трубка системы Кудинова, которая заглубляется в грунт при помощи вибратора. Получаемые этой трубкой колонки грубозернистых осадков имеют длину до 5 м.

Для понимания путей поступления и формы движения исходного материала для образования осадков большое значение имеют исследования водной и атмосферной взвеси. Сбор проб взвеси из воздуха ведется советскими океанологами при помощи липких ловушек и путем просасывания воздуха сквозь мембранные ультрафильтры. Водная взвесь выделяется из проб воды также путем фильтрации через мембранные ультрафильтры, а также путем сепарации на центробежных сепараторах. Последний способ дает возможность получать пробы взвеси большого объема. Сбор проб воды для последующего выделения взвеси ведется с поверхности, с различных горизонтов водной толщи и из придонного слоя. Применяются с этой целью насосы, батометры обычного типа, батометры большого объема (до 200 л), прибор ПТР-57 (для сбора проб придонной воды).

Советские океанологи широко применяют все три основных вида геофизических исследований: сейсмозондирование, гравиметрию и магнитометрию. Для сейсмозондирования в океане используют два основных метода работы: наиболее простой, с производством взрыва и приема сейсмических волн практически в одной точке, с одного корабля, и более сложный, с производством взрывов с одного корабля и ведением приема с другого. В настоящее время разработана и испытана конструкция автономного радиоакустического буя, который может заменить второй, приемный корабль и дать возможность вести исследования методом преломленных волн с использованием только одного корабля, что особенно важно в отдаленных районах океана. Разработан также и уже успешно применяется многоканальный пьезоприемник, общей длиной около километра, позволяющий более эффективно вести работы по методу отраженных волн с одного корабля.

Широкое применение получает в последнее время фотографирование дна океана. Фотоснимки дают богатый материал для изучения микро-рельефа дна, для суждения о характере экзогенных рельефообразующих процессов, о характере современного осадконакопления, не говоря уже об исследованиях донной фауны. Используются фотоустановки с автоматическим управлением, с автономными источниками питания и осветителями — электронными импульсными лампами, позволяющими делать при каждом спуске до 20—30 фотоснимков. Камеры включаются автоматически при прикосновении к поверхности дна. Они выдерживают спуск на максимальные глубины океана — вплоть до 10 000 м (впадина Кермадек). Применяются обычные камеры и камеры для стереофотосъемки.

Биологические исследования производятся для всестороннего освещения жизни в океане и влияния организмов на химические, физические и геологические процессы. Особенное значение уделяется изучению количественного распределения бактерий, планктона, бентоса и рыб. В этом отношении советскими биологами-океанологами достигнуты большие успехи.

Для сбора бактерий служат обычные гидрологические батометры, а для сбора грунта — геологические трубки. Кроме того, в океан опускают на особых зажимах предметные стекла на длительную экспозицию для изучения оседающих на стекло микроорганизмов.

Хорошие количественные пробы фитопланктона получают при употреблении гидрологических батометров. Поднятый на палубу 1 л воды фиксируется и отстаивается несколько дней. После этого воду сливают, а осадок сохраняют для последующих определений. От сетяных сборов для исследования количественного распределения фитопланктона советские планктонологи отказались.

Зоопланктон собирают сетями типа Джели, но с большим входным отверстием (1 м^2). Для микропланктона употребляют планктонособиратели системы Богорова. Определение первичной продукции ведется кислородным и изотопным (по Стиману — Нильсену) методами.

Основные работы проводятся по стандартным горизонтам, что имеет некоторые достоинства, но сильно искажает природную картину распределения планктона. Необходимо так же, как для гидрологии, исследовать вертикальное распределение планктона по естественным границам водных масс. Необходимо также выяснить точное количественное распределение планктона от поверхности до дна путем непрерывной характеристики (автоматической записи) в самой воде. Для этого нужно использовать подводный телевизор, мутномеры и другие приборы. Необходимо получить возможность сбора материала в большом количестве из заданной глубины.

Исследование количественного распределения бентоса ведется дночерпателем «Океан», являющимся модернизацией обычного дночерпателя Петерсена. Для открытых районов океана, особенно в тропической области, дночерпатели площадью даже 1 м^2 дают ничтожно малый материал. Поэтому советские ученые употребляют тралы со специальными тралографами — счетчиками пройденного тралом по дну пути.

Для систематического сбора икры, мальков рыб и мелких рыб, обитающих в толще океана, используют сети типа планктонных, а для сбора крупных рыб — тралы.

Проведение комплексных исследований, охватывающих все стороны физической, химической, геологической и биологической единой природы океана, является характерной чертой океанологических исследований, ведущихся советскими учеными.
