

## Технические средства для исследования структуры и динамики водных масс

© 2016 В.З. Дыкман

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия  
E-mail: zaharovich\_41@mail.ru*

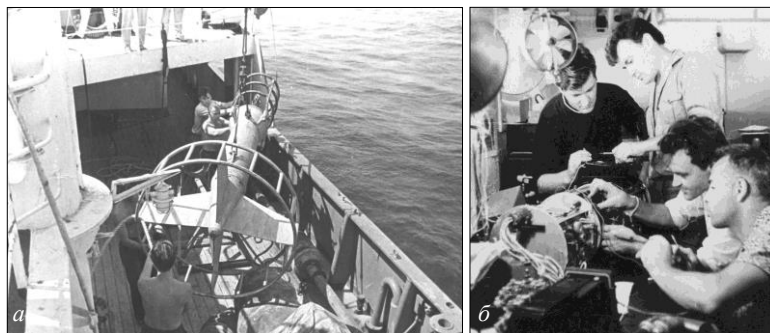
Поступила в редакцию 15.08.2016 г.

Дан обзор технических средств, созданных для исследования структуры и динамики водных масс как в приповерхностных и придонных слоях моря, так и в глубинных, где действуют процессы, не связанные с воздействием поверхностных ветровых волн. Их создание происходило на протяжении более чем 50 лет, с момента перебазирования Морского гидрофизического института из Москвы в Севастополь. Отслежен процесс адаптации измерительной аппаратуры к требованиям, меняющимся по мере познания физики явлений, происходящих в морской среде. Большинство созданных приборов были, каждый в свое время, наиболее совершенными среди отечественных. Практически все основные разработки запатентованы в СССР, Украине и России.

**Ключевые слова:** измеритель, турбулентность, тонкая структура, течения, донные наносы.

Морской гидрофизический институт (МГИ) сразу после перебазирования из Москвы в Севастополь взял курс на широкое внедрение в практику гидрофизических исследований современных технических средств собственной разработки. Директор МГИ Аркадий Георгиевич Колесников для реализации этой программы сделал ставку на вновь набираемый инженерно-технический персонал, поскольку научных сотрудников, в том числе прибористов, прибывших из Москвы, было недостаточно. Возможно, это был беспрецедентный случай такого широкого привлечения в институт молодых кадров преимущественно технической направленности. Автор данной работы был зачислен в отдел турбулентности еще студентом 3-го курса Севастопольского приборостроительного института. По заданию Н.А. Пантелеева (сподвижника А.Г. Колесникова) вместе с Г.Ю. Аретинским приступил к разработке электронных блоков глубоководного автономного турбулиметра (ГАТ-3) [1] на современной элементной базе (в то время на транзисторах). Показанные на рис. 1 кадры работы с ГАТ-3 были сделаны летом 1964 г., когда проводились первые глубоководные измерения мелкомасштабной турбулентности в Черном море.

Необходимость исследований в придонной области Черного моря уже в то время была чрезвычайно актуальной, так как некоторые ученые, в частности турецкий гидролог Пекташ [2], вполне серьезно предлагали сбрасывать ядерные отходы в глубоководную часть моря, утверждая, что там нет никакого обмена с вышележащими слоями. Однако советские ученые были другого мнения, например В.А. Водяницкий [2] и А.Г. Колесников.

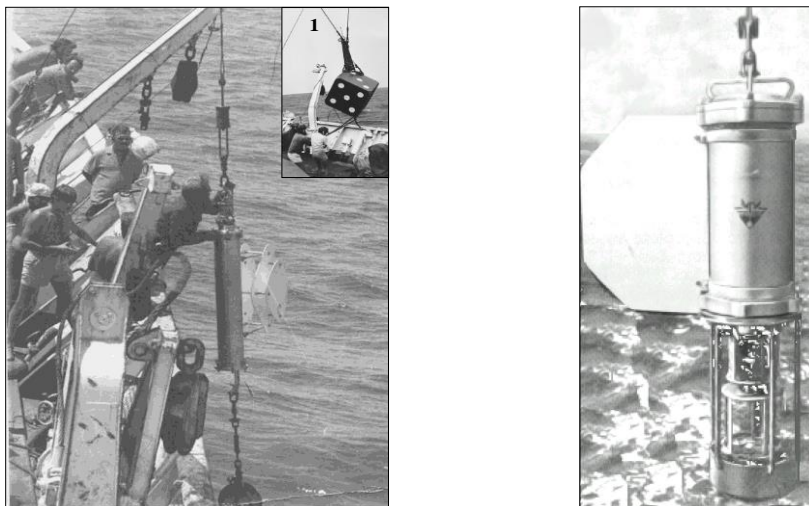


**Рис. 1.** 16-й рейс НИС «Михаил Ломоносов», Черное море. Глубоководное погружение ГАТ-3, глубина ~2000 м (а); проверка электроники ГАТ-3, слева – направо: Г.Ю. Аретинский, В.З. Дыкман, Н.А. Пантелеев, В.П. Писарев (б)

В 1964 – 1977 гг. в отделе турбулентности при непосредственном участии автора данной работы как руководителя группы было создано большое количество новых приборов. Вслед за ГАТ-3 разработаны более сложные автоматизированные комплексы, например АГАТ (рис. 2), для исследования морской турбулентности, оснащенные устройством записи информации на магнитный носитель большой емкости. В то время в океанологических приборах в СССР магнитная запись не применялась. Механические узлы устройств магнитной записи, прошедшие типовые испытания, были заимствованы из космической отрасли и доработаны под специфику применения в морских условиях. Для исключения вредного влияния поверхностного волнения на результаты измерения пульсаций скорости течения малых амплитуд, свойственных естественной мелкомасштабной турбулентности, были разработаны несколько типов так называемых притопленных буев. В рабочем режиме они находились не на поверхности моря, а на некоторой глубине, куда не проникает поверхностное волнение. Более того, часто для исключения влияния крупномасштабных течений на трос с подвешенными приборами буй располагался вблизи измерительного средства, иногда практически у самого дна. При таких режимах работы он должен был выдерживать большое давление – в сотни атмосфер. Для таких буев НИИ синтетических смол (г. Ярославль) по заказу МГИ изготавливал плавучести разных объемов и форм из смеси эпоксидной смолы и стеклянных микросфер (рис. 2, позиция 1). Такой материал с удельным весом  $\sim 0,6$  гр/см<sup>3</sup> выдерживал давление в сотни атмосфер и не подвергался коррозии. На малых глубинах, порядка нескольких сотен метров, нами использовались списанные цельнометаллические корпуса мин и гидроакустических станций.

Течения – важная гидрологическая характеристика, определяющая перемещение вод океана, поведение в нем полей солености, температуры и плотности, различных взвешенных и растворенных элементов естественного и антропогенного происхождения, существенно влияющая на погоду и климат Земли. Исследования мезомасштабной изменчивости поля скорости течений – актуальная задача всех времен, однако отечественные технические средства для их осуществления в 60-х годах отсутствовали, кроме механических буквопечатающих самописцев течений БПВ-2 и БПВ-р, обладающих

большим количеством методических и инструментальных погрешностей [3]. Главные среди них: завышение модуля скорости течения (вследствие нереверсивности преобразователя скорости) при воздействии волнения на сам измеритель и на буй – носитель аппаратуры; большая инерционность измерителя направления течения (корпус прибора с оперением); осреднение модуля скорости за весь интервал дискретности; мгновенное (в момент печати результата измерения) направление течения



**Рис. 2.** 5-й рейс НИС «Академик Вернадский», Индийский океан. Автоматизированный глубоководный автономный турбулиметр (АГАТ), подготовка к постановке на притопленную плавучесть (1)

**Рис. 3.** Автономный измеритель скорости течения (АИСТ)

В отделе турбулентности были разработаны несколько моделей **электронных** измерителей течений, например автономный измеритель скорости течения (АИСТ) (рис. 3). Его особенность – наличие магнитного регистратора информации, а также малый интервал дискретности измерений – 10 с. Незначительные величины времени осреднения модуля вектора скорости течения (10 с) и времени реакции (~1 с) датчика направления течения (флюгарка) обеспечивали уменьшение известных методических погрешностей измерений [3].

Длительность автономной работы измерителя АИСТ, однако, составляла чуть более суток, что и определило его область применения. Это интервал периодов исследуемых явлений между теми, которые обеспечиваются комплексами АГАТ и измерителями течения БПВ-2. Поэтому работы по созданию новых измерителей течений были продолжены. Для замены устаревших измерителей БПВ-2 и БПВ-р был разработан долговременный компонентный самописец течений (ДКСТ) (рис. 4), который, впервые среди отечественных, реализовывал алгоритм векторного осреднения на аналоговом уровне с последующим преобразованием аналогового сигнала в цифровой и его записью на магнитный носитель [4]. Особенностью ДКСТ были: реверсивный датчик

скорости – импеллер, не превышающий измеряемый модуль вектора скорости течения при колебаниях прибора; специально разработанный электролитический синус-косинусный компас [5]; электрохимический интегратор на базе эффекта Фарадея, который применялся в ракетной технике как таймер в устройстве сброса отработанных ступеней. Использование последнего было необходимо только для снижения энергопотребления блока электроники, выполняющего функцию аналогового векторного осреднения, так как микропотребляющих операционных усилителей и микропроцессоров в то время не существовало. Канал измерения температуры в ДКСТ был сделан на основе кварцевого термочастотного преобразователя.



Рис. 4. Долговременный компонентный самописец течений (ДКСТ)

Время непрерывной работы ДКСТ зависело от частоты дискретизации. Источник питания напряжением 10 В и емкостью 11 А/ч при интервале между отсчетами 5 мин обеспечивал длительность работы в течение 90 сут. При больших интервалах дискретности время непрерывной работы увеличивалось. Емкость магнитного накопителя составляла 25 тысяч 36-разрядных слов.

Применение в практике гидрологических исследований первых электронных *CTD*-зондов выявило наличие достаточно тонких неоднородностей исследуемых полей температуры, солености и плотности, которые на первых порах даже принимались за инструментальные погрешности. Но по мере накопления результатов зондирования стало очевидным, что это практически повсеместное явление, а диапазон вертикальных размеров неоднородностей различных полей простирается в сторону малых масштабов (доли метра – сантиметры). С целью исследования этого явления в отделе турбулентности было создано несколько моделей падающих вдоль кабель-троса зондов, обеспечивающих стабильную скорость зондирования в отличие от опускаемых на кабель-тросе.

Особенности конструкции измерителя Зонд-СТ следующие: приборный контейнер; индуктор; поплавок и парашют, замедляющие падение зонда; оперение, отводящее контейнер прибора от наклоненного кабель-троса. Вместо временной дискретизации измерений была применена пространственная дискретизация с помощью импеллера, запускающего цикл измерения каждые 3,6 см при движении вдоль кабель-троса.

Передача информации на борт судна осуществлялась с помощью частотно-модулированных сигналов через систему индуктор – кабель-трос – приемник.

Широко применявшийся в экспедициях Зонд-СТ (рис. 5, а) был хорошо отработанным прибором, надежным и удобным при выполнении зондирования до глубины 1500 м [6]. Его использование в рамках проекта ПОЛИМОДЕ позволило получить уникальные данные о тонкой структуре полей температуры и скорости распространения звука в крупномасштабных вихревых образованиях и рингах Гольфстрима (полученные материалы послужили основой для кандидатской диссертации автора). На рис. 5, б приведены графики этих же полей для Черного моря по результатам зондирования слоя скачка летом. Шкала глубины отражает лишь толщину показанного на рисунке фрагмента слоя скачка.

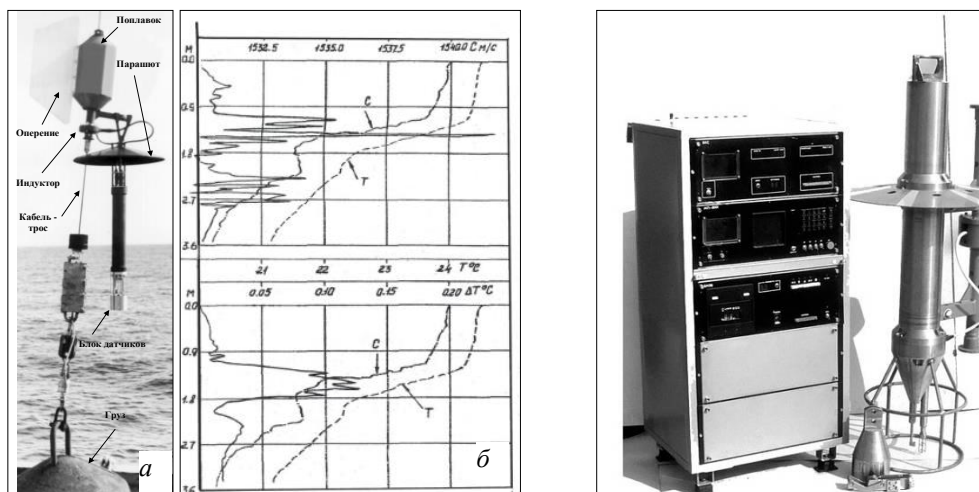


Рис. 5. Падающий по кабель-тросу Зонд-СТ – а; профили температуры, скорости распространения звука, их вертикальные градиенты, слой скачка летом в Черном море – б

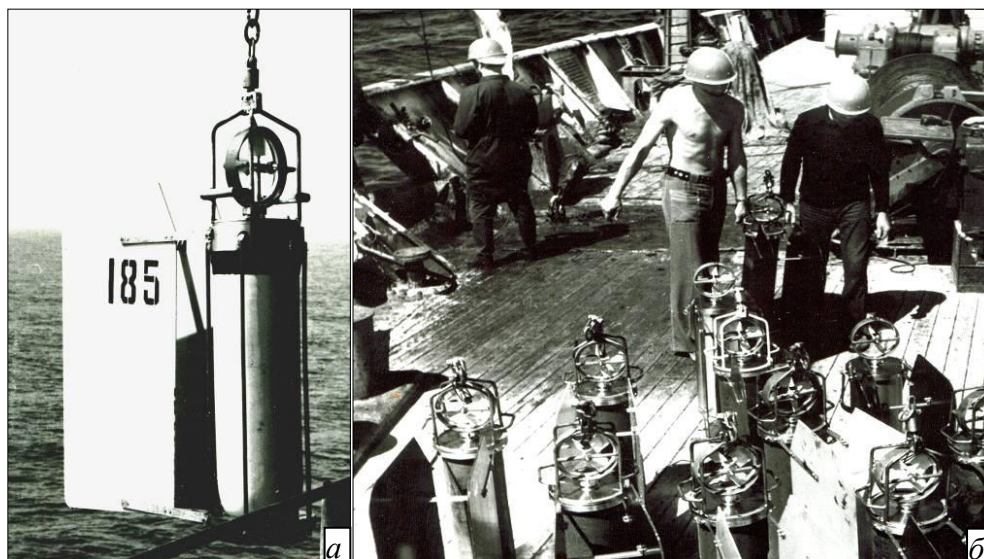
Рис. 6. Тонкоструктурный CTD-зонд высокого разрешения «Комплекс-1М»

В январе 1977 г. автор был переведен в СКТБ МГИ. В то время по заказу Гидрографической службы ВМФ СССР Специальное конструкторско-технологическое бюро института выполняло разработки нескольких измерительных комплексов, которые должны были осуществлять регистрацию параметров полей температуры и электропроводности с высокой точностью и большим пространственным разрешением. В СКТБ, имеющем опыт в разработке быстродействующих высокоточных CTD-систем, были созданы зонды «Комплекс-1» и «Комплекс-1М», позволяющие исследовать тонкую структуру полей температуры, солёности и плотности и с высокой точностью получать их средние профили и  $T$ ,  $S$ -кривые.

Последняя из разработок СКТБ – зонд «Комплекс-1М» (рис. 6) имеет большее пространственное разрешение канала измерения электропроводности вследствие применения малоразмерной четырехэлектродной ячейки датчика электропроводности в отличие от трансформаторного датчика зонда «Комплекс-1». Перечисленные выше зонды по пространственной разрешающей способности и чувствительности позволяли охватить диапазон вертикальных масштабов  $L > (2 - 7)$  см.

По заданию отдела автоматизации СКТБ приступило к доработке созданного в отделе измерителя течений ДИСК. Работа была выполнена, но с использованием другой, более совершенной элементной базы и иных принципов преобразования измеряемых параметров в цифру и их записи на магнитный носитель. Проблему с немагнитными корпусами, для исключения их влияния на компас, решили с помощью СКТБ Института проблем прочности АН УССР, разработавшего и изготовившего всю партию корпусов из стекла и керамики.

В результате новый измеритель течений МГИ-1301 был тщательно отработан и в 1983 г. ответственным исполнителем М.М. Коломойцевым были подготовлены и проведены государственные приемочные испытания с рекомендацией к серийному выпуску (рис. 7, а). Для обеспечения экспедиционной деятельности МГИ и поставки приборов по заказу Гидрографической службы СКТБ выпустило более 300 таких измерителей (рис. 7, б).

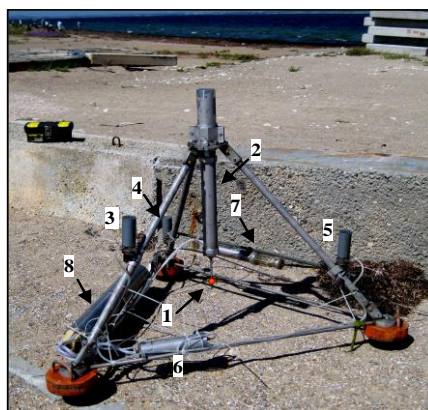


**Рис. 7.** Разработанный в СКТБ автономный измеритель течений и температуры МГИ-1301 – а; полное обеспечение экспедиционных судов Морского гидрофизического института своими измерителями течений – б

Так как к моменту завершения разработки измерителя МГИ-1301 уже было ясно, что альтернативы принципу векторного осреднения при измерении параметров вектора скорости течения нет, в СКТБ были инициативно, без дополнительного стороннего финансирования, организованы работы по созданию серийно-пригодного измерителя течений МГИ-1308, реализующего этот принцип. Коллектив разработчиков – В.З. Дыкман (руководитель группы), С.А. Лавров, Г.П. Дудников, А.П. Толстошеев, Е.И. Тимофеев, М.И. Иваненко – создал новые принципиально важные элементы измерителя: цифровой магнитный компас, реверсивный импеллерный преобразователь скорости течения, системный контроллер и запоминающее устройство, механические узлы, в частности шаровую систему подвеса прибора. В гидрокана-

ле Балтийского филиала ВНИРО (г. Калининград) были проведены испытания системы подвеса прибора в разрыв троса, обеспечивающей высокую точность разворота по потоку.

Результаты эксплуатационных испытаний измерителя течений МГИ-1308 в 41-м рейсе НИС «Академик Вернадский» (рис. 8) и статистической обработки полученных данных показали, что векторное осреднение существенно повышает качество исследований поля скорости течения.



**Рис. 8.** Натурные испытания измерителя течений МГИ-1308 в 41-м рейсе НИС «Академик Вернадский», Атлантический океан

**Рис. 9.** Трехосевой электромагнитный датчик пульсаций компонент вектора скорости течения

**Рис. 10.** Комплекс «Донная станция»: 1 – датчик пульсаций компонент вектора скорости течения, температуры и электропроводности; 2 – измерители: ускорений по трем осям, азимута и гидростатического давления; 3, 4, 5 – ловушки взвеси; 6 – электроника ловушек; 7 – измеритель коэффициента ослабления направленного света; 8 – центральный модуль (питание, связь)

В 1990 г. СКТБ МГИ получило заказ от НПО «Союзморинжгеология» (г. Рига) на 120 измерителей МГИ-1308, но, когда приборы были изготовлены, заказчик вынужден был отказаться от них. В настоящее время часть приборов еще остается в институте и используется по назначению.

После известных событий 1991 г. заказы от российских ведомств на производство различных гидрофизических приборов прекратились, а штат сотрудников СКТБ резко сократился. Однако благодаря инициативе заместителя директора В.А. Иванова ведущие разработчики *CTD*-зондов и приборов для исследования динамики водных масс, перешедшие в отдел гидрофизики шельфа, смогли продолжить свои разработки.

Динамические процессы в прибрежной зоне моря на глубинах до 15 – 20 м относятся к числу наименее изученных и наиболее актуальных для практических приложений. Недостаточная изученность связана со значительным дефицитом экспериментальных исследований динамики этой зоны, актуальность – с активизацией в ней процессов размыва, переноса и переотложения донного материала.

С целью получения данных прямых инструментальных исследований в придонной области прибрежной зоны моря, необходимых для определения потоков взвешенного вещества донных наносов, коллективом сотрудников отделов гидрофизики шельфа и турбулентности (В.З. Дыкман, О.И. Ефремов, В.А. Барабаш) был разработан уникальный трехосевой электромагнитный датчик пульсаций компонент вектора скорости течения (рис. 9), работающий при любом направлении обтекающего потока [7, 8]. Базовым элементом комплекса «Донная станция» [9] (рис. 10), предназначенного для исследования транспорта взвешенного вещества донных наносов, является измеритель пульсаций компонент вектора скорости течения (ИПВСТ) с трехосевым электромагнитным датчиком со сферической диаграммой направленности (рис. 11). Чувствительный элемент этого прибора имеет форму шара диаметром  $a = 3$  см, в соответствии с видом своей пространственной аппаратной функции он может измерять неоднородности с минимальной длиной волны [3]

$$\lambda_{\min} = 1,8 a = 5,4 \text{ см.}$$



**Рис. 11.** Измеритель пульсаций вектора скорости течения (ИПВСТ)

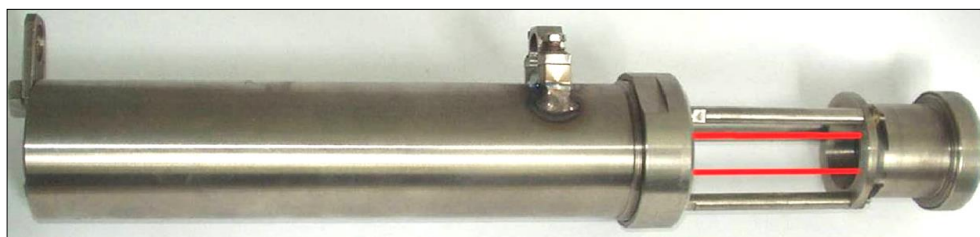


В процессах перемещения наносов принимают участие все три структурные составляющие поля скорости течения: волновые движения, мелкомасштабная турбулентность и средние течения, к числу которых в прибрежной зоне следует относить все флуктуации с периодами больше минуты. Типичной особенностью мелководья является преобладание волновых движений над средними течениями, благодаря чему направление мгновенного вектора скорости изменяется в очень широком угловом диапазоне. В такой ситуации оказываются непригодными измерители турбулентных флуктуаций с узкой диаграммой направленности, которые нормально работают только в режиме зондирования, при буксировках и в устойчивых потоках.

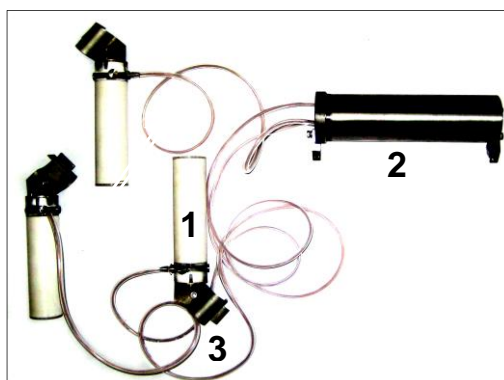
Главную роль в механизмах взвешивания частиц играет вертикальная компонента турбулентных флуктуаций скорости течения [10]. Однако это не значит, что можно пренебречь измерениями горизонтальных компонент скоростных флуктуаций. Прежде всего, горизонтальные компоненты волновых флуктуаций важны для расчета напряжений, участвующих в процессах эрозии донного грунта. Кроме того, приборная платформа может быть наклонена под некоторым углом к горизонту, и методически, для пересчета из одной системы координат в другую, необходимо измерять все три компоненты флуктуаций скорости течения.

Частотный диапазон регистрируемых ИПВСТ флуктуаций составляет 0,1 – 20 Гц, а разрешение по уровню – около 1 мм/с. Это означает, что с его помощью можно измерять одновременно характеристики волновых движений и мелкомасштабной турбулентности.

Из специфических модулей комплекс «Донная станция» содержит измеритель коэффициента ослабления направленного света (прозрачномер, или турбидиметр) (рис. 12), предназначенный для определения параметров взвешенного вещества, в частности концентрации и среднего размера частиц взвеси. Другим модулем (используемым для прямого инструментального определения параметров взвеси), которым оснащен комплекс, является модуль сборников (ловушек) взвеси (рис. 13) с дистанционным считыванием количества накопленной взвеси [11].



**Рис. 12.** Измеритель коэффициента ослабления направленного света (прозрачномер)



**Рис. 13.** Состав модуля сборников (ловушек) взвеси: 1 – накопительный стакан; 2 – блок обработки сигналов; 3 – крепление стакана

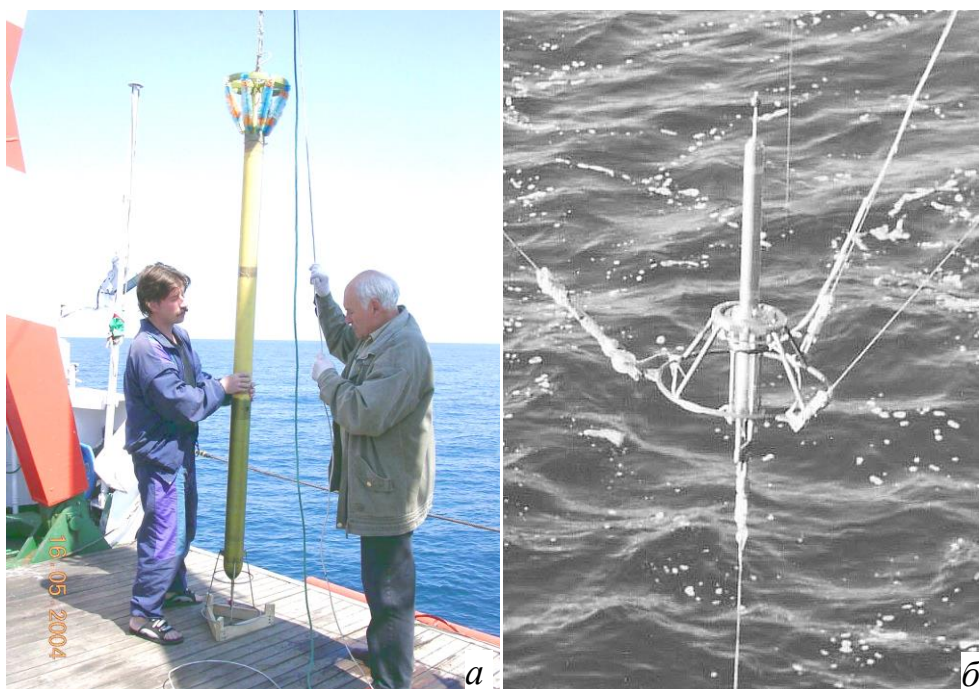
Постановка комплекса «Донная станция» на донное ложе в прибрежной области моря не совсем простое дело, особенно в сильное волнение. Она производится вручную в зоне обрушения волн на глубинах ~1,5 м (рис. 14, а). Для постановки на больших глубинах до 10 – 20 м предназначено специально сконструированное плавсредство на базе надувного катамарана «Нерис» (рис. 14, б).



**Рис. 14.** Методы постановки комплекса «Донная станция»: вручную (пляж заповедника «Херсонес») – а; с помощью специально созданного плавсредства на базе надувного катамарана «Нерис» на о. Коса Тузла – б

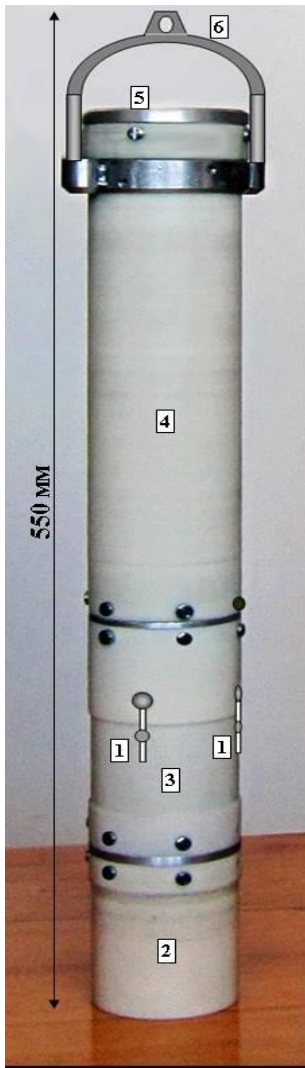
Для исследования гидрофизических полей в верхнем 100-метровом слое моря совместными усилиями отделов турбулентности и гидрофизики шельфа МГИ был создан многофункциональный измерительный комплекс «Сигма» (рис. 15), который удовлетворяет современным требованиям по точности и чувствительности, а основным его модулем является также ИПВСТ. Он может использоваться как в позиционном (неподвижном) режиме для исследования приповерхностного слоя, так и в зондирующем – для более глубоких слоев моря. Зондирующий вариант прибора предназначен для исследования тонкой структуры верхнего слоя океана с возможностью получения информации как по кабелю на бортовой компьютер, так и с помощью записи данных на флэш-память при работе в автономном режиме.

Комплекс «Сигма» измеряет три компоненты пульсаций вектора скорости течения –  $U'$ ,  $V'$ ,  $W'$ , температуру и пульсации температуры, электропроводность и пульсации электропроводности воды, гидростатическое давление. Характеристики измерительных каналов комплексов «Сигма» и «Донная станция» аналогичны. Измерители системы контроля положения условной оси комплекса «Сигма» относительно магнитного меридиана (азимут) и плоскости горизонта (крен-дифферент) позволяют учитывать движения самого прибора и однозначным образом связывать измеренные величины компонент вектора скорости течения с неподвижной системой координат. Кроме того, эти данные используются для исключения из показаний каналов измерения флуктуаций компонент вектора скорости течения тех составляющих, которые обусловлены собственными колебаниями прибора.



**Рис. 15.** Работы с зондирующим вариантом комплекса «Сигма-3» в международной экспедиции на болгарском научно-исследовательском судне «Академик» – *а*; комплекс «Сигма-П» (позиционный вариант) на платформе в пос. Кацивели – *б*

Практика многолетнего использования измерителей течений с механическими преобразователями скорости и направления в шельфовой зоне морей и на небольших глубинах показала, что они имеют небольшой срок надежного функционирования вследствие значительного обрастания биологическими объектами. Разработка нового измерителя течений была направлена на устранение основных недостатков таких измерителей, при этом принцип векторного осреднения сохранился.



**Рис. 16.** Измеритель течений ЭМИТ: 1 – два из четырех электрода; 2 – фальш-корпус с грузом; 3 – отсек датчика; 4 – отсек электроники и батареи; 5 – крышка; 6 – ручка-подвеска

Созданный автономный электромагнитный измеритель течений (ЭМИТ) (рис. 16) обеспечивает измерение двух горизонтальных компонент вектора скорости течения, осредненных за относительно большой интервал времени (10 мин и более). На их основании при обработке вычисляются осредненные модуль вектора скорости течения и его направление относительно магнитного меридиана. Измеритель способен работать в специфических условиях: в поверхностном слое моря, где пульсации скорости волновой природы могут быть сравнимы и превышать среднюю скорость переноса водных масс, в зоне выхода больших волн на мелководье пульсации могут превышать ее в десятки раз. В прибрежной зоне вода насыщена твердыми минеральными частицами, способными так же, как и биологические объекты при обрастании, в короткое время вывести из строя подвижные элементы механических преобразователей скорости. Измеритель ЭМИТ не имеет подвижных элементов механических преобразователей скорости и направления.

Для обеспечения высокой устойчивости прибора к воздействию исследуемой среды был выбран принцип магнитоиндукционного преобразования скорости движения электропроводящей жидкости в разность потенциалов, возникающих на электродах, помещенных в магнитное поле. Использование альтернативного акустического метода измерения параметров течения затруднено при высокой концентрации взвеси, а также при большом количестве воздушных пузырьков в зоне обрушения ветровых волн.

Специфика работы измерителя ЭМИТ в водной среде, когда волновая и турбулентная составляющие пульсаций скорости течения достигают единиц метров в секунду, а средняя скорость переноса – не более нескольких десятков сантиметров в секунду, вынуждает применять процедуру векторного осреднения за значительные интервалы времени, например 10 мин, или 1500 мгновенных отсчетов. Процедура осреднения, кроме того, позволяет значительно уменьшить влияние электрохимических шумов электродов и шумов гидродинамической природы в приэлектродной области.

Особое требование к этому измерителю – обеспечение автономной работы хотя бы в течение одного сезона (3 мес), т. е. чрезвычайно малое потребление электрической энергии, порядка одного-двух десятков милливатт от источника питания – литиево-полимерной батареи. Электронная часть измерителя, обеспечивающая усиление и преобразование слабых сигналов, посту-

пающих с электродов магнитоиндукционного датчика скорости течения, при существующей современной элементной базе может обеспечить малое потребление энергии батареи. Главной же проблемой остается создание магнитного поля в зоне расположения электродов магнитоиндукционного датчика скорости течения при минимальных затратах электрической энергии. Для исключения вредного эффекта поляризации электродов магнитное поле должно быть переменным. Создание переменного магнитного поля значительной интенсивности, генерирующего полезный сигнал, превышающий уровень шумов электрохимической природы, всегда представляло серьезную проблему с точки зрения потребления электроэнергии. Нами было создано устройство для возбуждения переменного магнитного поля путем вращения цилиндрического барабана со встроенными магнитами из редкоземельных материалов [12].

Быстродействие магнитоиндукционных преобразователей компонент вектора скорости течения, согласно классификации типов преобразователей [3], обеспечивает минимальные методические погрешности измерения.

**Заключение.** Более чем 50-летний опыт разработки приборов для исследования структуры и динамики водных масс позволяет адекватно реагировать на потребность в новых методах и технических средствах, предназначенных для организации оперативных наблюдений за состоянием морской среды и зоны сопряжения суши и моря.

Уже созданы действующие образцы *CTD*-систем высокой степени миниатюризации и чрезвычайно малого энергопотребления, обладающие необходимыми метрологическими характеристиками и предназначенные для применения в дрейферах и теряемых (одноразовых) зондах.

Измеритель течений ЭМИТ по своим метрологическим и эксплуатационным характеристикам может обеспечить получение достоверных данных в самых разнообразных условиях (включая зону обрушения ветровых волн) как при установке на неподвижных основаниях, так и при подвеске на буйковых станциях.

Для широкого воспроизводства новых измерительных средств необходимо создание комплекта рабочей конструкторской документации на основе имеющейся эскизной, а также производственная база, оснащенная станочным оборудованием соответствующего класса.

Две последние разработки были выполнены в рамках проекта 0827-2014-0010 (шифр «Фундаментальная океанология»).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников А.Г., Пантелеев Н.А., Аретинский Г.Ю., Дыкман В.З. Аппаратура для измерений турбулентных пульсаций скорости течения и температуры на больших глубинах океана // Методы и приборы для исследования физических процессов в океане. – Киев: Наукова думка, 1966. – Т. 36. – С. 15 – 25.

2. *Водяницкий В.А.* Записки натуралиста. – Москва: Наука, 1975. – 193 с.
3. *Кушнир В.М.* Некоторые вопросы измерения векторов флуктуирующих океанических течений // Экспериментальные методы исследования океана. – Севастополь: МГИ АН Украины, 1978. – С. 5 – 17.
4. *Дыкман В.З., Ефремов О.И., Наумчук В.В.* Векторно-осредняющий измеритель скорости течения // Там же. – Севастополь: МГИ АН Украины, 1978. – С. 112 – 116.
5. *А. с. № 877569 (СССР).* Синусно-косинусный преобразователь / В.З. Дыкман, В.А. Кропинов. – Оpubл. 30.10.81. Бюл. № 89.40.
6. *Дыкман В.З., Ефремов О.И., Пантелеев Н.А.* Зондирующий комплекс для исследования тонкой вертикальной структуры океана // Экспериментальные методы исследования океана. – Севастополь: МГИ АН Украины, 1978. – С. 125 – 136.
7. *Дыкман В.З., Ефремов О.И.* Электромагнитный датчик для измерения флуктуаций вектора скорости течения // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. – С. 318 – 324.
8. *Патент* Российской Федерации № 2548126. Устройство для измерения пульсаций скорости потока электропроводной жидкости / О.И. Ефремов, В.З. Дыкман, В.А. Барабаш. – Оpubл. 10.04.15. Бюл. № 10.
9. *Дыкман В.З., Иванов В.А.* Измерительный комплекс для исследования транспорта донных наносов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2001. – Вып. 2. – С. 276 – 287.
10. *Дыкман В.З., Иванов В.А., Ефремов О.И.* Функция распределения частиц взвеси в прибрежной области моря // Доп. НАН Украины. – 2005. – № 1. – С. 11 – 17.
11. *Патент* Российской Федерации № 2598397. Способ непрерывного определения концентрации минеральной взвеси в придонном слое моря в зоне интенсивного волнения / В.З. Дыкман. – Оpubл. 27.09.16. Бюл. № 27.
12. *Сведения о заявке № 2014152775 на выдачу патента РФ на изобретение «Электромагнитный измеритель компонент вектора скорости течения электропроводной жидкости» / В.А. Барабаш, М.С. Воликов, В.З. Дыкман.* – Оpubл. 10.07.16. Бюл. № 19.

## **Technical means for studying structure and dynamics of water masses**

**V.Z. Dykman**

*Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia  
e-mail: zaharovich\_41@mail.ru*

Reviewed are the technical devices designed to study structure and dynamics of water masses both in the surface and bottom sea layers, and in the deep-water ones where the acting processes are not affected by the surface wind waves. They had being developed in course of more than fifty years, since the Marine Hydrophysical Institute moved from Moscow to Sevastopol. The process of adapting the measuring equipment to the requirements resulting from the expanding notions on physics of the marine environment phenomena is shown. The majority of the developed meters were the most perfect, each in its time, among the domestic devices. Almost all the major inventions were patented in the USSR, Ukraine and Russia.

**Keywords:** measuring equipment, turbulence, fine structure, current, bed load.