

## ИСПЫТАНИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА РАЗЛИЧНЫХ ГЛУБИНАХ ЧЕРНОГО МОРЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ГЛУБОКОВОДНОЙ СРЕДЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ (ОБЗОР)

Л.Л. Смирнова

Институт природно-технических систем,  
г. Севастополь, ул. Ленина, 28  
E-mail: inik48@inbox.ru

На основе анализа литературных и собственных данных обобщен опыт использования глубоководного оборудования – якорных буйковых станций и глубоководных стендов для проведения испытаний судостроительных материалов в пелагиали Черного моря в 1971–1985 гг. Приведены результаты расчета надежности глубоководных систем и изучения основных факторов сероводородной среды, влияющих на разрушение судостроительных материалов на глубинах от 150 до 1000 м. Отмечена необходимость изучения стойкости материалов как в кислородной, так и в сероводородной зонах Черного моря с использованием современного глубоководного оборудования и методов контроля окружающей сероводородной среды.

**Ключевые слова:** Черное море, буйковые станции, глубоководные стенды, надежность, сероводород, бактериальное обрастание

Поступила в редакцию: 04.04.2020.

**Введение.** Для современной подводной техники, технических сооружений и оборудования, используемых в морской среде на различных глубинах, разрабатываются и создаются новые металлические и полимерные материалы. Основное требование к этим конструкционным материалам – высокая коррозионная и механическая прочность в изменяющихся физико-химических условиях морской среды. Поэтому проведение глубоководных испытаний – важный этап в определении комплексного влияния основных физико-химических и биологических факторов морской среды на стойкость различных судостроительных материалов. С середины 60-х годов XX в. отечественными и зарубежными исследователями активно разрабатывается методология проведения различных глубоководных исследований, создается и совершенствуется испытательное оборудование [1–4].

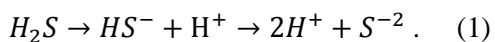
В предлагаемом обзоре на основе литературных и собственных данных анализируется опыт проведения глубоководных испытаний судостроительных материалов в Черном море в 1971–1985 гг. Испытания проводились Черноморским филиалом Центрального научно-

исследовательского института технологии судостроения (ЧФ ЦНИИТС), Севастополь. Образцы различных судостроительных материалов, средств защиты судов и судовых механизмов, детали судовых конструкций поставлял Центральный научно-исследовательский институт технологии судостроения (ЦНИИТС), Ленинград. В этот период основное внимание уделялось созданию надежного испытательного оборудования, методикам установки и подъема испытательных стендов [3, 5]. В результате проведенных исследований были получены первые результаты о влиянии сероводородного заражения черноморской воды на эксплуатационные характеристики металлических и полимерных материалов, используемых в судостроении [6–11].

**Особенности химического состава воды Черного моря.** Современное Черное море сформировалось 7 тыс. лет назад [12]. По вертикальной стратификации вод оно считается крупнейшим в мире меромиктическим водоемом: водная толща Черного моря разделена на два различающихся по плотности и химическому составу слоя – поверхностный аэробный (глубина слоя в прибреж-

ных районах 200–225 м и в центральных – до 115–150 м [13]) и анаэробный глубинный, разделённых промежуточной зоной [13–15]. Благодаря циклоническим течениям в Черном море происходит непрерывный подъем глубинных вод и их взаимодействие с поверхностными водами в промежуточной зоне [13, 16]. Подтверждением вертикального подъема черноморских вод являются и многочисленные микробиологические исследования, проведенные А.Е. Криссом с коллегами [17–19]. Ими отмечено разнообразие морфологических форм и активность микроорганизмов на глубинах от 125 до 2000 м и вынос в поверхностные слои моря бактериальных нитевидных клеток, доминирующих в сероводородной зоне [18, 19]. Существуют различные теории о сложной структуре и роли промежуточной зоны, которые в течение последних десятилетий изменяются и дополняются новыми данными о химическом и микробиологическом окислении сероводорода [13–15, 20–24].

Сероводород в Черном море имеет бактериальное происхождение. Он образуется в толще анаэробной зоны и придонных слоях моря в результате жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий, которые используют сульфат-ионы, как источник энергии [13, 15, 20]. Образующийся газообразный сероводород диссоциирует – распадается на ионы

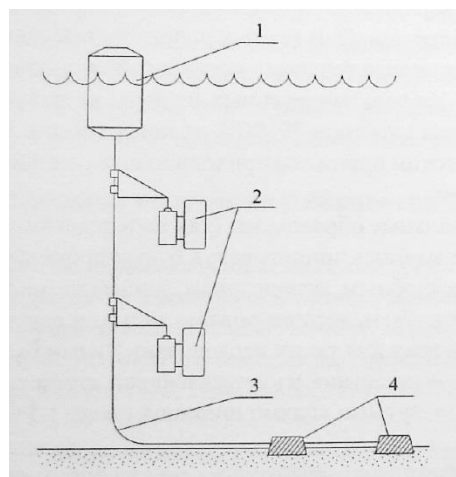


Направление реакции диссоциации зависит от величины рН морской среды. На глубинах 400–2000 м доля свободного сероводорода не превышает 8%, содержание гидросульфид-иона  $HS^-$  изменяется в пределах 80–86%, содержание сульфид-иона  $S^{2-}$  до 6–12% [25].

Сероводород и продукты его диссоциации, в зависимости от рН морской воды, являются основным фактором химических и электрохимических процессов, происходящих на поверхности металлических и полимерных материалов и влияющих на их стойкость в глубоководной зоне Черного моря [7, 9, 10].

**Оборудование для глубоководных испытаний и пути его совершенство-**

**вания.** С начала 70-х годов XX в. для изучения океанического обрастания на различных глубинах отечественными исследователями разрабатывалась и совершенствовалась методология испытаний на буйковых станциях (рис. 1).



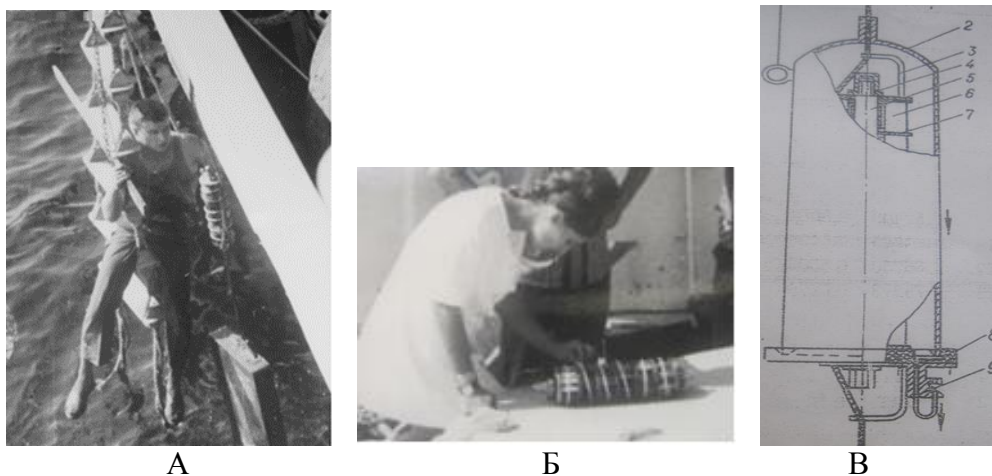
**Рис. 1.** Схема якорной буйковой станции: 1– буй; 2– кронштейны для океанографических приборов; 3– буйреп; 4 – якоря по [4]  
**Fig. 1.** The scheme of the anchor buoy station: 1– buoy; 2– brackets for oceanographic instruments; 3– buoyrep; 4 – anchors, according to [4]

На протяжении многих лет для испытаний использовалась буйковая система – несколько якорных буйковых станций, которые устанавливались на специальных полигонах в Атлантическом, Индийском, Тихом океанах и в Аравийском море [4]. Такие же буйковые станции – якорные гидрологические буи – использовались для проведения гидрографических работ на Черном море Морским гидрофизическим институтом (МГИ), Севастополь [26].

В 1971–1974 гг. на Черном море группой исследователей ЧФ ЦНИИТС были проведены первые успешные глубоководные испытания с использованием буйковых станций (рис. 1), на которых вместо кронштейнов крепились кассеты с образцами судостроительных материалов. Для испытания использовались металлические и неметаллические образцы размером 50x100мм, которые закреплялись в специальных кассетах цилиндрической формы (высота 45 см, диаметр 15 см), показанные на рис. 2. Каждая кассета в центральной части

имела отверстие, через которое пропускаться буйреп и прикреплялась к буйрепу вручную, рис. 2А. Кассеты крепились на буйрепе последовательно и

таким образом, чтобы при испытаниях каждая из них находилась на требуемой глубине.



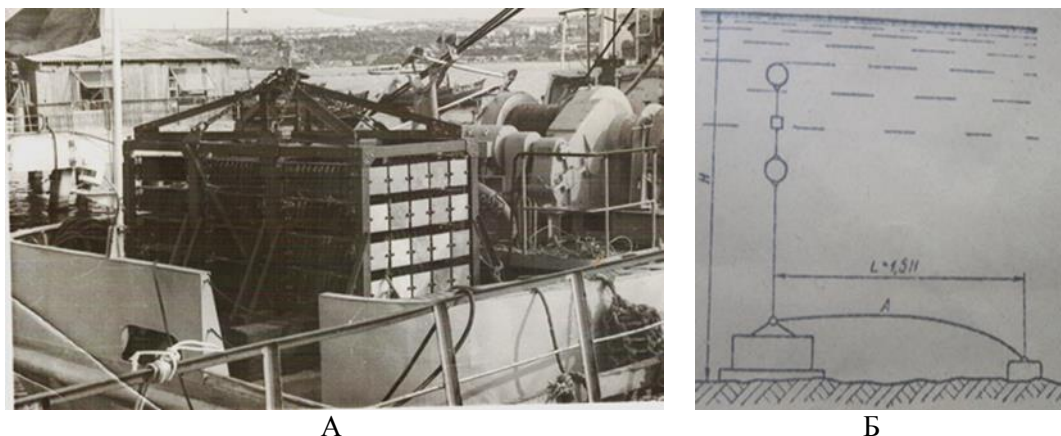
**Рис. 2.** Установка кассет с образцами для глубоководных испытаний: А – закрепление кассеты на буйрепе Б – кассета с образцами судостроительных материалов; В – кассета для микробиологических испытаний в защитном колпаке (объяснения даны в тексте)  
**Fig. 2.** Installation of cassettes with samples for deep sea testing: А – fixing the cassette on the buirep; В – cassette with samples of shipbuilding materials; C – cassette in a case for microbiological tests (explanations are given in the text)

Буйковые станции устанавливались у крымского побережья в районе свала глубин в местах с ограниченным движением судов. Экспозиция образцов различных судостроительных материалов на якорных буйковых станциях продолжалась от нескольких часов до 14–20 суток. Глубина погружения последовательно закрепленных кассет составляла 150, 500, 1000 м и 10, 150, 300, 500, 1000 м для микробиологических исследований [6]. Конструкция кассеты с образцами для микробиологических исследований при подъеме позволяет защитить их от загрязнения микроорганизмами верхнего аэробного слоя. Как показано на рис. 2В, кроме штанги (5), различных фланцев (3, 4, 7, 8), на кассетах имелись защитные колпаки (2, 9), которые при подъеме активировались, раскрывались и изолировали образцы (6) от окружающей среды.

снабженные подводными несущими буйами, что позволяло проводить испытания на глубинах от 200 до 2000 м, продолжительность экспозиции от 1 до 3 мес [2, 3]. В состав основных конструктивных элементов глубоководной испытательной системы входили контейнер с образцами (стенд), такелаж, автоматическое размыкающее устройство (АРУ), несущий буй, якорь и подъемный трос (используется в аварийных ситуациях, когда не срабатывает АРУ и несущий буй не всплывает). Создание глубоководных стендов позволило проводить испытания не только полимерных судостроительных материалов, образцов технических металлов и сплавов размером 300x250 мм, но и элементов некоторых судовых конструкций и образцов конструкционных материалов под различной нагрузкой.

На следующем этапе освоения черноморских глубин, к концу 70-х годов XX в., было разработано и сконструировано более совершенное оборудование – подводные испытательные стенды,

На рис. 3 показаны подготовленный к испытаниям подводный стенд и схема постановки стенда, разработанная в Океанографическом институте, Вудс Холл (США) [1].



**Рис. 3.** Испытания судостроительных материалов с использованием глубоководного стенда: А – глубоководный стенд с закрепленными образцами на борту НИС «Исследователь»; Б – схема постановки стенда на испытания по [1]: Н – глубина погружения; А – подъемный трос

**Fig. 3.** Testing of shipbuilding materials using the deep sea stand: A – the deep sea stand with fixed samples on board of the RS «Issledovatel»; B – scheme of setting the deep sea stand according to [1]: H – immersion depth; A – lifting cable

Совершенствование глубоководного испытательного оборудования, использование низкочастотных (до 5 кГц) АРУ [2, 3] и соблюдение методики постановки обеспечивали:

- высокую вероятность подъема глубоководных испытательных стендов;
- необходимый контакт испытываемых образцов, с сероводородной средой;
- отсутствие условий для образования гальванических пар между металлическими образцами, установленными на испытания и деталями испытательного стенда;
- точность определения основных параметров среды на глубинах установки стендов с образцами.

Для выполнения всех этих требований была предложена расчетная модель, отражающая качественные стороны конструкции глубоководной системы [5]

$$Q = \sqrt[6]{K_g} \times K_j \times K_i \times K_\psi \times K_\phi \times K_q, \quad (2)$$

где  $K_g$  – коэффициент относительной емкости стенда;  $K_j$  – коэффициент надежности такелажа;  $K_i$  – коэффициент грузовой эффективности стенда;  $K_\psi$  – грузоподъемность несущего бую;  $K_\phi$  – коэффициент надежности несущего бую;  $K_q$  – коэффициент вероятности подъема стенда;  $b$  – количество коэффициентов.

К наиболее значимым коэффициентам модели (2) можно отнести  $K_\phi$  – коэффициент надежности бую и  $K_g$  – коэффициент относительной емкости стенда. Коэффициент надежности несущего бую рассчитывается по уравнению

$$K_\phi = \phi_o \times \phi_i \times \phi_n, \quad (3)$$

где  $\phi_o$  – относительная прочность;  $\phi_i$  – износоустойчивость;  $\phi_n$  – неуязвимость, которая для систем с притопленным бую составляет 0,7; для систем с поверхностным бую – 0,3.

Для уравнения (3) расчет относительной прочности проводится по формуле

$$\phi_o = \frac{n - n_{\min}}{n}, \quad (4)$$

где  $n$  – запас прочности проектируемого корпуса бую;  $n_{\min}$  – минимально допустимый запас прочности, равен 1,2.

Показатель износоустойчивости для уравнения (3) учитывает коррозионный износ бую

$$\phi_i = \frac{n_k}{n}, \quad (5)$$

где  $n_k$  – запас прочности корпуса бую в конце срока экспозиции, определяется по коррозионному разрушению.

Расчет коэффициента относительной емкости стенда ( $K_g$ ) для модели (2) проводится по уравнению

$$K_g = \frac{g - g_{\text{усл}}}{g}, \quad (6)$$

где  $g$  – соотношение массы образцов и массы стенда в воде;  $g_{\text{усл}} = 0,5$ , из условия, что в воде стенд обладает массой в 2 раза больше, чем образцы.

Следует отметить, что коэффициент  $K_g$  является мерой оптимальности конструкции стенда, которую необходимо постоянно увеличивать, совершенствуя конструктивные элементы глубоководной испытательной системы [5].

**Контроль за основными физико-химическими параметрами глубоководной среды.** При изучении глубоководного океанического обрастания внимание уделялось физическим параметрам морской среды: направлению течений, температуре морской воды в местах испытания, влияющих на миграцию личинок-обрастателей и развитие обрастания различных поверхностей [4]. Для гидрофизических измерений использовалось разнообразное регистрирующее оборудование [4, 26]: самописцы течений ВПВ и системы Алексева, фото-термографы системы Глазунова, батитермографы. Оборудование крепилось к металлическим кронштейнам, укрепленным на буйрепе, что показано на рис. 1.

При глубоководных испытаниях судостроительных материалов в Черном море основное внимание уделялось изучению агрессивных факторов морской среды – концентрации сероводорода, изменяющейся с глубиной, величине рН и биокоррозионной активности микроорганизмов перифитона. Для определения гидрохимических показателей использовались батометрические пробы, которые отбирались при постановке и подъеме испытательных глубоководных систем. Батометры БМ-48 укреплялись на тросе таким образом, чтобы проводить отбор проб воды на глубинах, соответствующих расположению кассет с образцами. Скорость течения в районах постановки глубоководных испытатель-

ных систем оценивалась по существующим навигационным картам.

Концентрация сероводорода определялась методом прямой потенциометрии с использованием сульфидсеребряного электрода в паре с хлорсеребряным электродом [27, 28]. Разность потенциалов ( $E$ ) измерялась цифровым амперо-вольтметром типа Р-386 с точностью  $\pm 0,1$  мВ. Измерения проводились в ячейках закрытого типа объемом 250 мл в которые на глубину до 6,0 см погружались электроды. Для определения зависимости потенциала сульфид-селективного электрода от концентрации сульфид-ионов, на которую существенно влияет величина рН, строились калибровочные кривые. В качестве фоновых электролитов использовались 1,6% раствор хлористого натрия и черноморская морская вода. Для приготовления рабочих растворов готовились растворы сульфида натрия в диапазоне концентраций от  $10^{-1}$  до  $10^{-5}$  моль/л. Величину рН рабочих растворов регулировали добавлением 1М растворов щелочи или соляной кислоты. Величина рН морской воды с различных глубин и рабочих растворов определялась на иономере типа ЭВ-74. Содержание сульфид-ионов в рабочих растворах контролировалось йодометрическим методом [29]. При анализе глубоководных проб концентрация сульфид-ионов, полученная по калибровочной кривой в необходимом диапазоне величины рН, использовалась для расчёта концентрации сероводорода, согласно реакции (1).

Сульфидсеребряный электрод селективен на низкие концентрации сульфид-ионов в присутствии сульфитов, сульфатов, тиосульфатов [28]. Преимуществом потенциометрического метода по сравнению с традиционным йодометрическим [29], при котором значительная доля йодопотребления идет на продукты окисления сероводорода, является не только селективность, но и высокая чувствительность и скорость измерения. Результаты определения концентраций сероводорода, полученные при проведении глубоководных испытаний приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Концентрация сероводорода и величина рН проб черноморской воды, отобранных на различных глубинах, октябрь 1973, 1974 гг.

Глубина, м	Зона	Концентрация сероводорода, мг/л	Величина рН
10	Аэробная зона	0	8,24 – 8,28
150	Нижняя граница редокс-зоны	0,08 – 0,12	8,20 – 8,17
300	Анаэробная зона	0,60 – 0,72	8,13 – 8,11
500	Анаэробная зона	1,05 – 1,25	8,10 – 8,05
1000	Анаэробная зона	2,19 – 2,50	7,93 – 7,75
1500	Анаэробная зона	5,01 – 5,55	7,25 – 7,01
2000	Анаэробный придонный слой	7,25 – 7,87	6,64 – 5,95

Изучение глубоководных микроорганизмов перифитона проводилось после фиксации бактериального обрастания на исследуемых образцах в парах 40% формалина, под люминесцентным микроскопом МЛ-1 при х900 [6]. Численность различных физиологических групп гетеротрофных микроорганизмов определялась после снятия и посева на рыбопептонный агар соскобов с поверхности различных металлических и контрольных стеклянных образцов [6–8].

**Некоторые предварительные результаты.** Результаты испытаний различных металлических материалов в глубоководной зоне Черного моря, показали, что сероводород оказывает существенное влияние на их стойкость. На фоне снижения скорости общей коррозии сталей, что уже отмечалось в работе [30], усиливаются катодные процессы с водородной деполяризацией, которые сопровождаются охрупчиванием, растрескиванием, появлением каверн и питтингов [8–10]. Магниево-алюминиевые и цинковые сплавы, используемые при электрохимической защите, снижают свои защитные свойства [9]. После испытания корпусных сталей, алюминиевых и медных сплавов на глубине 2000 м отмечено отложение на их поверхности плотного слоя сульфидов железа, алюминия и меди. Системы лакокрасочных покрытий, из-за способности сероводорода и продуктов его диссоциации при повышенном давлении проникать между макромолекулами их органической основы, не обеспечивают защиту металлоконструкций [9, 11]. Противообрастающие покрытия на основе закиси меди,

под влиянием даже незначительных концентраций сероводорода, теряют эффективность из-за образования нерастворимого сульфида меди, в который переходит от 0,1 до 10% введенной в защитное покрытие закиси меди [11].

Получены новые результаты о роли микробиологического фактора в разрушении металлических материалов. Отмечено, что бактериальное обрастание металлов и сплавов сильнее, чем на контрольных стеклянных пластинах [6]. Основным инициатором биоразрушения являются сульфатредуцирующие бактерии, которые доминируют в перифитонных микроценозах [10]. Кроме того, биоразрушение судостроительных материалов усиливается в результате биохимической активности специфической для каждого металла гетеротрофной микрофлоры [6–8]. Наибольший процент специфичной микрофлоры, в основном кислотообразующей, наблюдался на поверхностях различных корпусных сталей. [8].

**Заключение.** Сотрудниками ЧФ ЦНИИТС к концу 80-х годов XX в. был накоплен значительный опыт проведения глубоководных испытаний в пелагиале Черного моря: разработаны испытательные системы с притопленными несущими буями. Впервые получены результаты электрохимической и биокоррозионной активности сероводородной среды. Определена роль как сульфатредуцирующей так и гетеротрофной микрофлоры в разрушении металлических материалов. Однако контроль за физико-химическими параметрами морской среды в районе установки подводного оборудования проводился нерегулярно, используемое оборудование для



контроля физико-химических параметров морской среды было несовершенным в отличие от современных систем отбора черноморских глубоководных проб и химических методов анализа [31].

Начиная с 1991 г., после распада СССР на суверенные государства, экспериментальная база для проведения морских испытаний, в том числе глубоководных, в шельфовой зоне Крымского полуострова и пелагиале Черного моря была утеряна. Сложившаяся ситуация отрицательно влияет на развитие научных основ для разработки и применения новых отечественных судостроительных и конструкционных материалов, предназначенных для эксплуатации на различных глубинах, в том числе в зоне контакта донные отложения – морская среда с сероводородным заражением.

Проведение глубоководных испытаний перспективно для районирования морских акваторий по их коррозионной активности, с учетом влияния как химических, так и микробиологических факторов, и прогнозирования надежности и долговечности морской техники, предназначенной для эксплуатации в различных частях пелагиали Черного моря, особенно в сложной по структуре редокс-зоне.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Обзор программы океанографических исследований при помощи систем буев*. // Экспресс-информация. Сер. Подводно-технические, водолазные и судоподъемные работы. 1974. № 47.

2. *Христов Р.В., Степанов С.Н., Петров В.Г.* Применение глубоководного испытательного оборудования и перспективы его развития // *Технология судостроения*. 1981. № 5. С. 36–38

3. *Христов Р.В., Лях Е.П.* Автоматизация процесса подъема глубоководных испытательных стендов // *Технология судостроения*. 1983. № 4. С. 86–88.

4. *Ильин И.Н.* Экология океанического обрастания в пелагиали. М.: Тов-во н. изд., КМК. 2008. С. 42–90.

5. *Христов Р.В., Лях Е.П.* Оценочные критерии качества глубоководного испытательного стенда // *Технология судостроения*. 1982. № 1. С. 86–88.

6. *Штевнева А.И., Лебедева М.Н., Мельничук Е.П., Панина О.А.* О роли бактериальных обрастаний в разрушении металлов в морской воде // *Гидробиол. журнал*. 1973. Т. 9, № 3. С. 12–19.

7. *Лебедева М.Н., Штевнева А.И.* Обрастание гетеротрофной микрофлорой и его влияние на коррозию металлов в сероводородной и кислородной зонах Черного моря // *Океанология*. 1975. Т. 15, вып. 4. С. 649–653.

8. *Лебедева М.Н., Штевнева А.И., Маркианович Е.М.* Видовой состав перифитонных бактерий и их биохимические свойства на различных металлах, экспонируемых в кислородной и сероводородной зонах Черного моря // *Мат-лы Всесоюз. симпозиума по изученности Черного и Средиземного морей, использованию и охране их ресурсов* (Севастополь, октябрь 1973). Часть IV. Санитарная и техническая гидробиология. Киев: Наук. думка. 1973. С. 70–74.

9. *Выхристюк П.Н., Мельничук Е.П., Хлыстов А.З.* Коррозионная стойкость и защитная способность некоторых материалов в сероводородной зоне Черного моря // *Тез. докл. 4-й межотраслевой науч.-техн. конф. «Защита судов от коррозии и обрастания»*. Ленинград: Судостроение. 1989. С. 49–50.

10. *Лукашева Т.А., Леденев А.В., Коровин Ю.М.* Комплексные исследования обрастания и коррозии металлов в Черном море // *Обрастание и биоповреждения: экологические проблемы*. М.: Наука. 1992. С. 161–170.

11. *Смирнова Л.Л., Мельничук Е.П.* Средства защиты от коррозии металлических материалов в сероводородной морской среде при высоком гидростатическом давлении // *Прогрессивные методы и средства защиты металлов и изделий от коррозии: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. / Всесоюз. межотраслевой науч.-техн. институт по защите металлов от коррозии*. М., 1988. Ч. 3. С. 207–208.

12. *Merten K.N.* Quantitative estimation of Holocene surface salinity variation in the Black Sea using dinoflagellate cyst process length / *K.N. Merten, L.R. Bradley, Y. Takano [et al.] // Quaternary Science Reviews*. 16 April. 2012. V. 39. P. 45–59.

13. *Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И.* Геохимия Черного моря. Киев: Наук. думка. 1982. 144 с.

14. *Безбородов А.А., Еремеев В.Н.* Черное море. Зона взаимодействия аэробных и анаэробных вод. АН Украины. МГИ. Севастополь, 1992. 132 с.
15. *Сорокин Ю.И.* Черное море: Природа, ресурсы. М.: Наука. 1982. 216 с.
16. *Водяницкий В.А.* Черное море в свете новейших исследований. Севастополь: Крымиздат. 1951. 28 с.
17. *Крисс А.Е.* Морская гидробиология (глубоководная). М.: Изд-во АН СССР. 1959. 455 с
18. *Крисс А.Е., Лебедева М.Н.* Вертикальное распределение численности и биомассы микроорганизмов в глубоководных областях Черного моря // Докл. АН СССР. 1952. Т. 93, № 6. С. 949–952.
19. *Лебедева М.Н.* Бактериальные нити, вынесенные из сероводородной зоны Черного моря, как возможный объект питания зоопланктонеров-фильтраторов на примере *Calanus helgolanicus* // Тр. Сев. биол. станции АН СССР. 1959. Т. XI. С. 29–42.
20. *Сорокин Ю.И.* Экспериментальные данные о скорости окисления сероводорода в Черном море // Океанология. 1971. Т. XI, вып.3. С. 425–431.
21. *Гулин М.Б., Лазоренко Г.Е.* Влияние окислительно-восстановительных условий среды на образование в черноморской воде взвешенной формы марганца // Доклады АН УССР. 1990. № 3. С. 57–60.
22. *Дебольская Е.И., Якушев Е.В.* О роли взвешенного марганца в окислении сероводорода в редокс-зоне Черного моря // Водные ресурсы. 2002. Т. 29, № 1. С. 79–84.
23. *Сорокин Д.Ю., Лысенко А.М.* Характеристика гетеротрофных бактерий из Черного моря, способных окислять восстановленные серные соединения до сульфатов // Микробиология. 2003. Т. 62, вып. 6. С. 1018–1030.
24. *Коновалов С.К.* Субоксидная зона Черного моря: генезис и роль в формировании пространственно-временной изменчивости биогеохимической структуры вод основного пикноклина. Автореф. дисс .... д.г.н. Севастополь: НИЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика". 2011. 36 с.
25. *Жоров В.А., Совга Е.Е., Калашикова Ю.С., Кирчанова А.И.* Оценка химических форм сероводорода в различных зонах Черного моря // Геохимия. 1978. № 11. С. 1703–1709.
26. *Васильев А.С., Назаров В.С.* Аппаратура для обнаружения якорных гидрологических буев // Методы и приборы для исследования физических процессов в океане. Севастополь: МГИ. АН УССР. 1966. Т. 36. С. 163–167.
27. *Камман К.* Работа с ионселективными электродами. М.: Мир. 1980. 180 с.
28. *Мигли Д., Торрено К.* Потенциометрический анализ вод. М.: Мир. 1980. С. 454–465.
29. *Унифицированные методы анализа вод.* М.: Химия. 1977. 217 с.
30. *Вульфсон В.И.* Физико-химическая характеристика морской воды как коррозионной среды // Технология судостроения. 1965. № 7. С. 34–39.
31. *Дубинин А.В.* Определение восстановленных форм серы в воде анаэробных бассейнов / А.В. Дубинин, Т.П. Демидова, М.Н. Римская-Корсакова [и др.] // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35. № 1. С. 37–51.

#### **TESTING OF SHIPBUILDING MATERIALS AT VARIOUS DEPTHS OF THE BLACK SEA: TECHNICAL EQUIPMENT, CONTROL OF THE DEEP WATER ENVIRONMENT PARAMETERS, PROSPECTS FOR DEVELOPMENT (REVIEW)**

**L.L. Smyrnova**

Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

Based on the analysis of literature and own data, the author summarizes the experience of using deep-water equipment-anchor buoy stations and deep water stands for testing shipbuilding materials in the Black Sea pelagic zone in 1971–1985. The results of calculating the reliability of deep water systems and studying the main factors of hydrogen sulfide environment that affect the destruction of shipbuilding materials at depths from 150 to 1000 m are presented. The need to study the resistance of materials in both oxygen and hydrogen sulfide zones of the Black Sea using modern deep water equipment and methods for monitoring the environment is noted.

**Keywords:** Black Sea, buoy stations, deep water stands, reliability, hydrogen sulfide, bacterial fouling.