

В. В. ШУЛЕЙКИН

ОЧЕРКИ
ПО
ФИЗИКЕ МОРЯ

4-Е ИЗДАНИЕ

Василий Владимирович Шулейкин

ОЧЕРКИ ПО ФИЗИКЕ МОРЯ

*Утверждено к печати
редколлегией научно-популярной литературы
Академии наук СССР*

Редактор издательства *В. А. Никифоровский*
Художник *И. В. Царевич*
Технический редактор *Г. Н. Шевченко*
Корректоры: *И. И. Афонин* *И. С. Куликов*,

Сдано в набор 31/X 1961 г.
Подписано к печати 29/I 1962 г.
Формат 60×90¹/₁₆. Печ. л. 29,5+5 вкл.
Уч.-издат. л. 29(28,4+0,6)
Тираж 3000 экз. Т-01141
Изд. № 138. Тип. зак. № 2544.

[Цена 2 руб. 26 коп.

Издательство Академии наук СССР
Москва, Б-64, Подсосенский пер., 21

2-я Типография Издательства АН СССР
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

О Г Л А В Л Е Н И Е

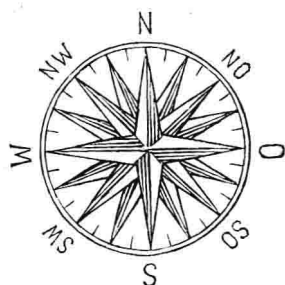
Предисловие.	3
I. Откуда пошла физика моря	5
II. Солнце — источник движения в океане и атмосфере	31
III. Как борются приход и расход тепла в море, как вычисляется тепловой баланс и на что он указывает	47
IV. Как влияет океан на климат материков и чем отвечают материки океану.	79
V. Колебательные явления в системе океан—атмосфера—материк	110
VI. Как возникают морские течения	149
VII. Как зарождаются волны, как они растут и умирают	185
VIII. Как Луна и Солнце вызывают приливы. Как возникают сейши и волны от подводных землетрясений	274
IX. От чего зависит окраска моря и на что она указывает. Как освещаются морские глубины	305
X. Звуковые, ультразвуковые и инфразвуковые волны в морской воде и над морем	335
XI. Как движутся рыбы и другие обитатели моря	358
XII. Магнитные и электрические явления в море	410
Рекомендуемая литература	467

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

АКАДЕМИК
В. В. ШУЛЕЙКИН

ОЧЕРКИ ПО ФИЗИКЕ МОРЯ

*Издание 4-е
переработанное и дополненное*



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА • 1962

В книге рассматриваются основные вопросы физики моря: влияние океана на климат материков; развитие волн; подробно рассказано, как Луна и Солнце вызывают приливы, почему возникают сейши и волны от подводных землетрясений, от чего зависит окраска моря и на что она указывает, как освещаются морские глубины; как движутся рыбы и другие обитатели моря, и многое другое. Для настоящего издания книга переработана и дополнена. Глава, посвященная магнитным и электрическим явлениям в море, включена в книгу впервые. Книга хорошо иллюстрирована.

ПРЕДИСЛОВИЕ

На полке давно приютилась тоненькая книжка малого формата. Это — наши «Очерки по физике моря», впервые выпущенные в свет Государственным издательством в 1927 г. И Издательство тогда было в нашей стране — единственным междудементальным, и книжка была тогда, вероятно, — единственной научно-популярной, посвященной новому разделу геофизики — физике моря, и очерков в ней содержалось только шесть... Эта книжка, приветливо встреченная читателем, на много лет опередила нашу монографию «Физика моря», и так уж повелось с тех пор, что каждое последующее новое издание «Очерков» стало выходить раньше очередного издания «Физики моря».

Именно так случилось и сейчас: четвертое издание «Очерков» должно отразить в популярной форме те новые течения в нашей науке, те новые идеи, которые родились и развились после выхода в свет третьих изданий обеих книг. С той поры в нашей стране успела возникнуть и широко развиться новая теория морских волн, и соответствующий очерк сейчас содержит полностью обновленный материал. Переработаны и дополнены новыми данными остальные очерки. Кроме того, добавлен совершенно новый очерк, посвященный магнитным и электрическим явлениям в море. Эти явления с каждым годом все больше привлекают внимание исследователей моря, в особенности наших, отечественных. Даже введение, предпосланное «Очеркам» в третьем издании, расширилось в связи со стремительным развитием нашей науки и превратилось в самостоятельный очерк о том, откуда пошла физика моря.

Говоря об истоках ее, с гордостью думаешь о том, что в 1959 г. исполнилось ровно двести лет со дня выступления Михаила Ломоносова в конференц-зале Академии наук с «Рассуждением о большей точности морского пути», а в 1961 г. — 250 лет со дня рождения первого русского академика — исследователя моря.

Перерабатывая и дополняя научный материал «Очерков», пришлось по-новому подойти к «степени популяризации», если

позволительно употребить такой термин. Это вызвано двумя соображениями. Во-первых, ныне «Очерки» не одиноки: в научно-популярных журналах и в отдельных брошюрах читателю предлагается интересное чтение по смежным вопросам науки. Тем самым создана как бы первая ступень к знаниям в этой области. Во-вторых, с каждым годом множатся миллионы наших сограждан, получивших среднее образование. Помня об этой многомиллионной аудитории, было бы непростительно обеднить книгу и оставлять читателя в стороне от интересных, важных исследований — только для того, чтобы не утруждать его воспоминаниями о сведениях, полученных в последних классах. По этим-то двум причинам мы стремились построить все изложение применительно к запросам и возможностям основного состава читателей, из числа окончивших среднюю школу, или ее учащихся-выпускников.

В конце книги приведен краткий список специальной литературы, которую можно рекомендовать более подготовленным читателям (студентам, преподавателям), познакомившимся с очерками.

Василий Шулейкин

Кацивели, 24 декабря 1960 г.

ОТКУДА ПОШЛА ФИЗИКА МОРЯ

«Мореплаванием приобретенные человеческому роду выгоды исчислять, есть то же, как опуститься в неизмеримую пучину...» — двести лет тому назад звучали эти слова Михайлы Васильевича Ломоносова в публичном Собрании Академии наук. «Рассуждение о большей точности морского пути» читал он в этот день, 8 мая 1759 г. в конференц-зале Академии. Закончилось Собрание, и вот — представляются мне вереницы людей, расходящихся влево и вправо по набережной Невы. Холодом несет с реки, ветер гонит пенистые гребни по мелким волнишкам, посвистывает в ушах. Такой же холодок остался на сердце у многих слушателей: «Что и говорить — хорошие речи послушать приятно! Интересные чертежи показывал господин коллежский советник и профессор Михайло Ломоносов. Хитроумные махины придумал он для морского дела. Но... — само-то морское дело к чему нам? Кто мы? Итальянцы что ли, которым тесно сидится на их земле, клином вытянувшейся в море, да на островах, откуда им и податься некуда, разве только в море? Или на малых английских островах живем мы? Или не видали чего за морями? Потеряли там что? Нет, упаси боже! Страна наша — велика и многообразна, земель в ней хватит и нам, и детям, и внукам, и правнукам. От конца до конца в жизнь не доскачешь. Да и две жизни прожил бы — до моря не добрался бы, кабы не беспокойный, блаженной памяти государь Петр Алексеевич... Нелегкая понесла его к этой вот реке Неве, да к морю... Вот — и других с собой приволок неволей. Нет! Не иначе, как для пущей учености говорил нам нынче Михайло Васильевич о пользе, да о пользе...».

Ручаться можно, что так думали слушатели великого Ломоносова, расходясь по домам. Порукой тому книжка в полсотни страниц, в синей бумажной обертке, без переплета: без малого двести лет она покоилась на складе Академии наук, а второго издания не потребовалось, ибо первое не разошлось.

Спокойно лежала книжка, а в книжке лежал клад: любовь Ломоносова к родине, к морю, с которым связано его детство архангелогородца, помора. И другой еще клад лежал в книжке: в ней

почти два столетия назад заложены идеи, которые только значительно позже были вторично высказаны «авторами» различных изобретений, полезных для мореплавания. Со всех концов света слышно было об этих изобретениях. Из поколения в поколение передавали иностранные имена «авторов». Ленъ было перелистать на Васильевском острове книжку в полсотни страниц и подумать основательно: «А ведь Ломоносов-то на десятки, а иногда и на сотню лет опередил западную науку даже в той части, которой кичатся так называемые морские страны!»

Лучше поздно, чем никогда. Вот на вас смотрят три таблицы ломоносовских чертежей (рис. 1, 2, 3), отмеченных римскими цифрами. Об эпохе свидетельствует костюм молодого слушателя «Мореплавательской академии», изображенного на фиг. XXIII (рис. 3). Где он сидит и чем занят, скажем после.

В глазах рябит от разнообразия фигур — чертежей приборов, геометрических построений, замысловатых механизмов. Первотопассный физик своего времени, Ломоносов далеко опередил и соотечественников и иностранцев в исследованиях, предназначенных на пользу мореплавания. За полтораста лет до лорда Кельвина он показал, как многообразны задачи прикладной физики моря и какую большую пользу может принести физик морскому делу, если он применит свои навыки хотя бы к созданию морского исследовательского арсенала приборов.

Вот, в ломоносовском «арсенале» под номерами I—III на рис. I значатся фигуры, изображающие трубу, подвешенную на трех подвижных рамках прямоугольной формы. Зеркала *N* и *P* отражают в трубу лучи от двух звезд, находящихся на разных высотах и на разных вертикалах. При наблюдениях невооруженным глазом видно, что в некоторый момент времени обе звезды оказываются на одном вертикале, при их видимом движении вместе с небесной сферой вокруг полюса мира. Однако на глаз нельзя точно отметить такой момент. Зеркала Ломоносова позволяют выравнивать между собой видимые в трубу высоты звезд, а значит, и момент прохождения звезд через общий вертикал теперь будет соответствовать моменту совпадения изображений обеих звезд. Нетрудно показать, что, отметив этот момент, можно по специальным таблицам определить долготу места корабля в море.

Для определения широты в ломоносовские времена применяли так называемый гадлеев квадрант (похожий на нынешний секстан). Ломоносов предложил усовершенствовать его, придав ему форму, изображенную на фиг. III. Даже об улучшении и упрощении самой техники изготовления прибора позаботился Ломоносов, придумав простой и хороший для того времени прием нанесения делений: для этого служит приспособление, изображенное на фиг. V.

Но часто, очень часто ни звезды, ни Солнце недоступны для наблюдений по несколько суток: небо затянуто облаками, горизонта

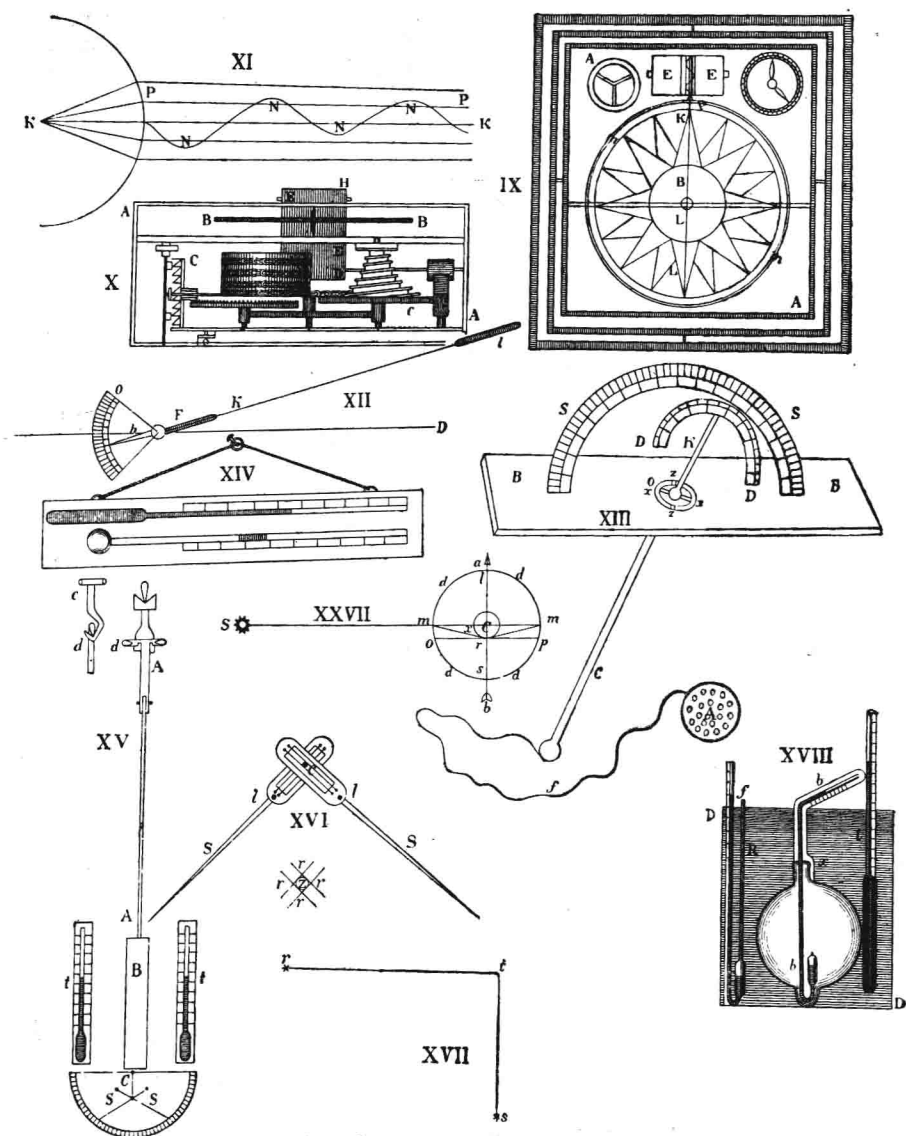


Рис. 2. Чертежи М. В. Ломосова

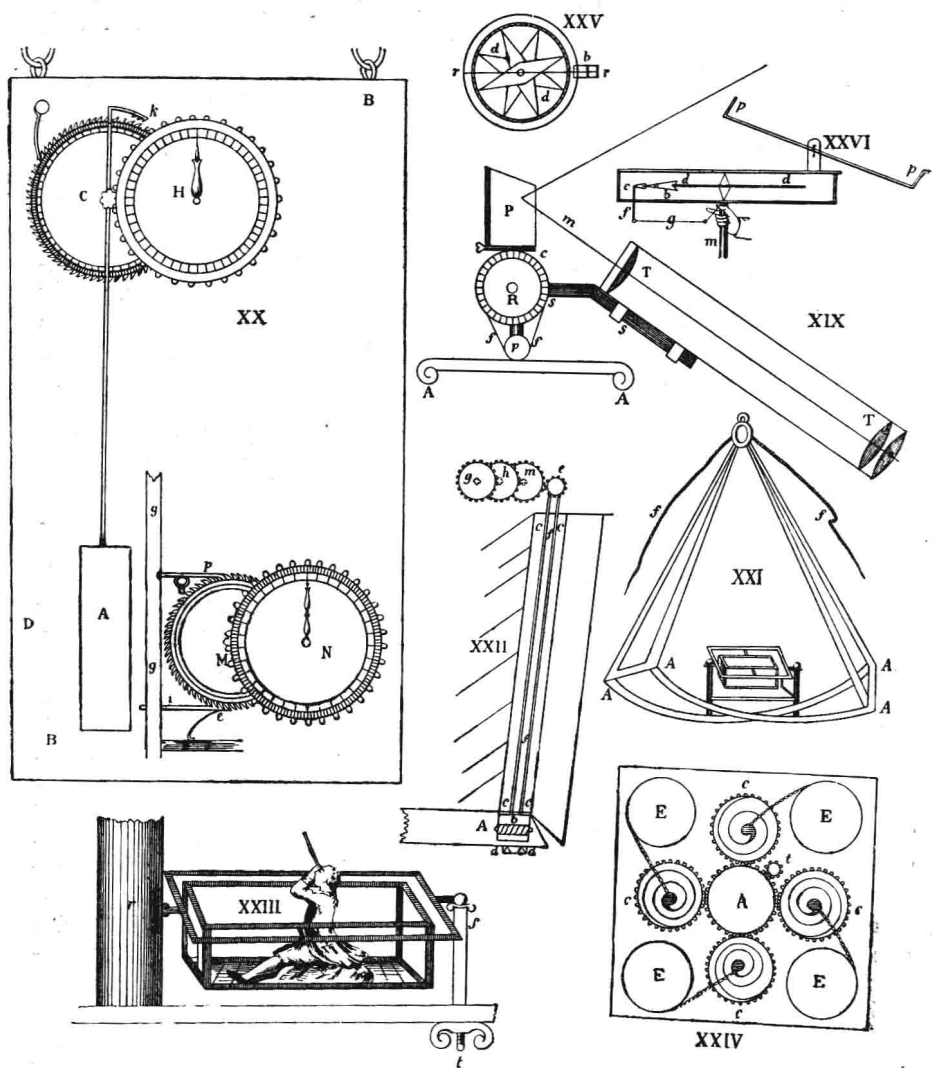


Рис. 3. Чертежи М. В. Ломоносова

тоже бывает не видно в тумане. Как тогда определять место корабля в море? Тогда определение ведут по счислению: по карте, на которую наносят направление хода корабля и пройденное расстояние. Значит, надо прежде всего ручаться за точность показаний компаса, этого самого главного мореходного инструмента. А какая могла быть точность показаний у компасов, употреблявшихся во времена Ломоносова? Ведь на их маленьких картушках были нанесены лишь витиевато вырисованные «направления ветров» (по-нынешнему — румбы).

И Ломоносов говорит: «Компасы надобно делать больше, чтобы разделение ветров явственней было, и крупно градусы, дабы у управления поставленный мог иметь внимание и к трехсот шестидесятой доле компасного круга... Поставить его надобно так, чтобы черная линия, по белому проведенная, точно параллельно стояла с осью корабельною или с килем, и сильно намагниченная сталь могла преодолеть трение. Сего довольно для обыкновенного компаса, при правлении употребительного».

«Между тем чтобы все погрешности, которые от оплошности правящего бывают, знать корабельщику, должен он иметь особый компас самопишущий».

На фиг. IX и X Ломоносов дал эскизы этого прибора — дромографа, как он его назвал, или курсографа, как называют теперь после «изобретения» его на западе. Разумеется, сама техника записи ныне совсем иная, да и компасы, служащие для записи, — иные (гироскопические, основанные на свойствах быстро вращающегося тяжелого тела). Но идея Ломоносова живет во всех современных курсографах и действительно прекрасно помогает «корабельщику» — штурману — следить за погрешностями работы рулевого. Даже самый нерадивый или неопытный рулевой, подойдя после вахты к ленте, на которой записан изломанный курс, не может не упрекнуть себя и не может не извлечь пользы из такого четкого и беспристрастного урока: урока, преподанного бессловесной «машиной». Но Ломоносов не ограничивает применение своей «машины» одной только контрольно-воспитательной задачей: кривая, записанная курсографом, позволяет ему определить общее, полное отклонение корабля от нужного курса, обусловленное погрешностями рулевого, путем взвешивания двух кусков бумажной ленты, прорезанной по кривой.

Как бы ни был силен магнит компаса, как бы хорошо ни была изготовлена его картушка, непосредственный отсчет по компасу никогда не даст точного представления об истинном направлении курса: необходимо еще знать поправку на склонение, различную в различных точках океана. Для определения этой поправки Ломоносов также придумал приспособления, изображенные на фиг. XXVI.

Итак, на карту можно нанести направление, по которому идет корабль. Теперь надо еще знать скорость, с которой он идет.

В ломоносовское время эта техника была еще слаба: пользовались пеньковыми тросами — лаглинями с дощечкой на конце и с узлами, наложенными на протяжении линия на равных расстояниях. Однако, как он замечает, «лаглини, или мёрные веревки, скорости корабельного ходу не непрерывно перемены ея показывают, но с перемешками. Отсюда уже довольно явствует, что те способы сему предпочитать должно, которые изъявляют сие беспрестанно. Для исполнения того должно сделать махину, которая завсегда движется, показывая на всякое мгновение скорость; и чтобы при перемене румпа одним взором количество расстояния пути осмотреть можно было, без скучного выпуску лаглиня и его назад свивания».

Ломоносов сам придумал такую «махину». Она изображена на фиг. XXII. Здесь за кормой корабля установлен небольшой винт *A*, вращающийся на ходу благодаря действию воды. От винта вверх идет передача к системе зубчатых колес, сцепляющихся между собой и несущих на осях стрелки, как в современных автомобильных спидометрах: стрелки показывают мили и доли мили, а также десятки и сотни миль. Как видим, — это настоящий механический лаг и притом непосредственно связанный с самим корпусом корабля, как современные механические лаги новых конструкций. Штурман может легко определять по нему переплытое кораблем расстояние, не отходя от приборов и не посылая матроса отсчитывать лаг.

Стремясь сделать отсчет переплытого расстояния как можно точнее, Ломоносов решил даже принять во внимание поправку на волнение, заставляющее корпус перемещаться не по прямой, а по волнистой линии. На фиг. XX изображен прибор, который должен был служить для этого. Доска *BB* устанавливается в вертикальной плоскости, параллельной килю. Поэтому при килевой качке груз *A* будет поворачиваться вокруг оси *c*. При подъеме правого (на чертеже) края доски штанга *cA*, где висит груз, будет сохранять вертикальное положение, поворачивая зубчатку *c* на угол, равный наклону киля. Напротив, при подъеме левого угла груз *A* будет упираться в шпенец *g*, вставленный в доску *d*. Тем самым будет каждый раз на один зубец поворачиваться другая зубчатка *M*. В результате по счетчику *H* можно будет судить о сумме всех углов диферента на килевой качке, а по счетчику *N* — о числе всех колебаний корабля, приведших к такой сумме. Разделив первое число на второе, получим средний угловой размах килевой качки на том или ином переходе.

Этот прибор Ломоносова не получил в дальнейшем никакого практического применения, так как поправки на килевую качку ничтожно малы по сравнению с погрешностями, которые делаются при счислении пути по другим причинам, к сожалению, иногда неизбежным. Однако он может пригодиться для других целей: например, для суждения о среднем угле крена на бортовой качке,

характерном для того или иного типа корабля. Придется лишь установить прибор в плоскости, перпендикулярной (а не параллельной) килю.

Самые грубые и нередко очень опасные ошибки счисления возникают благодаря незнанию скоростей течений в различных районах океана. В самом деле, ведь можно с большой точностью измерить расстояние, пройденное кораблем относительно воды; а каков путь, пройденный самими частицами воды, увлекаемой течением? Этого мореплаватель чаще всего не знает. Единственный способ борьбы с подобными опасностями это — «ученое мореплавание», интерес к которому Ломоносов тщетно пытался привить современникам.

Он рекомендовал для исследования скоростей течений «известным положением парусов остановить корабль неподвижно на морской поверхности; кинуть в море шар *A* (фиг. XIII), который, чем глубже опустится, тем больше чувствовать будет сопротивление от тихой воды во глубине. Веревка натянется; спица и указатель наклонятся, показывая действие по длине корабля в полукруге *DD*, а по ширине на полукруге *SS*. Из обоего наклонения удобно сыщется скорость и сторона течения морского, что все сперва в меру привести должно».

Вспомним, что во времена Ломоносова мореплаватели всего мира очень мало интересовались «ученым мореплаванием»; к ним вполне относился упрек, высказанный еще Плинием и повторенный Ломоносовым: «Несчетное множество открытыми морями к страноприимным берегам плавают, однако для прибытка, не для науки. Нижё ослепленной и в лакомство внимательный ум размышляет, что наукою прибыток безопасней быть может».

Вспомним, что никакой теории морских течений тогда не существовало, никаких зависимостей между скоростью ветра и скоростью ветрового течения не знали тогда и частенько не знают в наше время. Тогда только еще начинались первые исследования по теории приливов и связанных с ними приливных течений. С уверенностью можно сказать, что в этой области физики моря Ломоносов был одним из пионеров. На фиг. XV и XVIII изображены две экспериментальные установки, которые он придумал для исследования приливов образующих сил, вызванных воздействием Луны и Солнца (рис. 2.).

Первая из них в качестве чувствительной детали содержит тяжелый маятник *B* с иглой *C* на нижнем конце, действующей на стрелки *SS*, которые крупней изображены на фиг. XVI. Этим достигается чувствительность, которой обладал бы маятник длиной 35 м.

Вторая установка содержит барометрическую трубку, заключенную внутри стеклянного шара, герметически закрытого и помещенного в термостат. Возмущающие силы должны менять высоту столба ртути.

Кстати, барометрами также много занимался Ломоносов. В частности, он убедился в непригодности обыкновенного барометра в корабельных условиях, во время качки. Поэтому специально для корабельных надобностей он предложил свою оригинальную установку, изображенную на фиг. XIV. Здесь, в сущности на общей доске, смонтированы спиртовой термометр и газовый барометр с каплей в капилляре и с открытым правым концом. Обе шкалы разделены на градусы температуры при нормальном давлении. При повышении давления нижняя шкала будет показывать меньшую «температуру» по сравнению с верхней. При понижении атмосферного давления роли переменяются: нижняя шкала будет показывать завышенную «температуру». Не трудно снабдить прибор таблицей для перевода его показаний в миллиметры ртутного столба. Тогда он может служить в качестве судового барометра.

Остается добавить, что современные типы судовых барометров появились значительно позже этого простого и остроумного прибора.

В заключение нашего беглого обзора вернемся к фиг. XXIII, на которой изображен слушатель «Мореплавательской академии». Он находится на площадке, подвешенной так же, как подвешиваются компасы и некоторые другие мореходные приборы. Таким способом предлагает Ломоносов повысить точность астрономических наблюдений во время сильной качки. На рис. 3 буквой *г* обозначена мачта. Вторая продольная полуось крепится к стойке *S*. Поперечные полуоси на рисунке не показаны.

Ломоносов позаботился также и о тренировке слушателей «Мореплавательской академии» на берегу. Для такой тренировки должен служить станок, изображенный на фигуре XXI и построенный по тому же принципу, по какому строились старинные детские колыбели и строятся до сих пор игрушечные кони: при воздействии на пеньковые концы *ff* станок раскачивается на салазках *АА*. В свою очередь к этим салазкам прикреплена та же самая система «равновесий» (по терминологии Ломоносова), которая крепилась к мачте на фиг. XXIII.

Но и сама «Мореплавательская академия» не удовлетворяла Ломоносова теми обычаями, той целеустремленностью, которые ей были приданы: «Мореплавание — дело столь важное до сего времени почти одною практикою производится. Ибо хотя Академия и училища к обучению морского дела учреждены с пользою, однако в них тому только обучают, что уже известно: для того чтобы молодые люди, в сем знании получив надлежащее искусство, заменяли престарелых, на их места вступая. А о таковых учреждениях, кои бы из людей состояли в математике, а особливо в астрономии, гидрографии и механике искусных, и о том единственно старались, чтобы новыми полезными изобретениями безопасность мореплавания умножить, — никто, сколько мне известно, постоянного не предпринимал попечения».

Ломоносов не ошибся: никто ни на родине, ни за ее пределами не предпринимал об этом никакого попечения, никому не были видны те широкие задачи морского научно-исследовательского института, которые увидел он два века назад.

Но почин Ломоносова не остался без продолжателей, а продолжателями оказались прежде всего русские военные моряки. Несмотря на «сухопутные» настроения, связывавшие руки, несмотря на узкие ведомственные цели, которые ставились перед отдельными рейсами военных кораблей, на борту этих кораблей повелось производить настоящие исследовательские работы. С другой стороны, в самой Академии наук, несмотря на те же сухопутные настроения, жила память о морских начинаниях Ломоносова и время от времени возникали интересные и важные задачи, связанные с морем.

Военный флот гостеприимно предоставлял место ученым на борту своих кораблей; такое содружество русского флота с Академией наук не замедлило дать богатые результаты, опередившие западную морскую науку.

Первые в мире глубоководные гидрофизические исследования в океане, измерения температур и химического состава глубинных вод, принадлежат русскому академику Ленцу, плававшему на маленьком военном корабле (так называемом шлюпе) «Предприятие», которым командовал капитан-лейтенант Коцебу. Эти замечательные работы, проведенные с 1823 по 1826 г., положили начало всей современной океанографии и, в частности, современной океанографической техники.

Достаточно сказать, что Ленц на совершенно новых основаниях построил тот станок, с которого должны погружаться в океанские глубины все исследовательские, все измерительные приборы, начиная хотя бы с лота для измерения глубин. На рис. 4 воспроизведено изображение этого глубомерного станка, или вьюшки, как говорят теперь.

При работах на больших глубинах собственный вес вытравленного троса становится весьма ощутимым, и, как бы ни был тяжел свинцовый груз на его конце, прикосновение груза ко дну не остановило бы вращения барабана с тросом, если бы не приспособление, придуманное Ленцем. Приспособление весьма простое и остроумное: по мере вытравливания троса барабан подтормаживается все больше и больше посредством тросового стопора, действующего от рукоятки; тем самым компенсируется натяжение, вызванное собственным весом вытравленного троса.

Много лет спустя совершенно такая же по существу глубомерная вьюшка получила распространение на всех океанах и морях под названием лота... Томсона (лорда Кельвина).

Как обнаружил по архивным материалам В. А. Снежинский, работники Индо-Европейской телеграфной компании, учрежденной Томсоном, участвовали в промерах близ кавказских берегов в конце