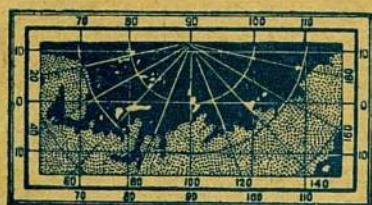




СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ

СБОРНИК СТАТЕЙ ПО ГИДРОГРАФИИ И МОРЕПЛАВАНИЮ



22/VI
XVI

35-19

104-16a

СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ

СБОРНИК СТАТЕЙ
ПО ГИДРОГРАФИИ И МОРЕПЛАВАНИЮ

XVI

ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЛАВСЕВМОРПУТИ
ЛЕНИНГРАД • МОСКВА • 1940

ОБЯЗАТЕЛЬНЫЙ
ЭКЗЕМПЛЯР



Ответственный редактор *Г. Н. Боровиков*

Редколлегия:

Я. К. Смирницкий, Н. Н. Алексеев, В. И. Сухоцкий,
Д. К. Шереметьев, Н. П. Корытин

Технический редактор *А. А. Соловейчик*.

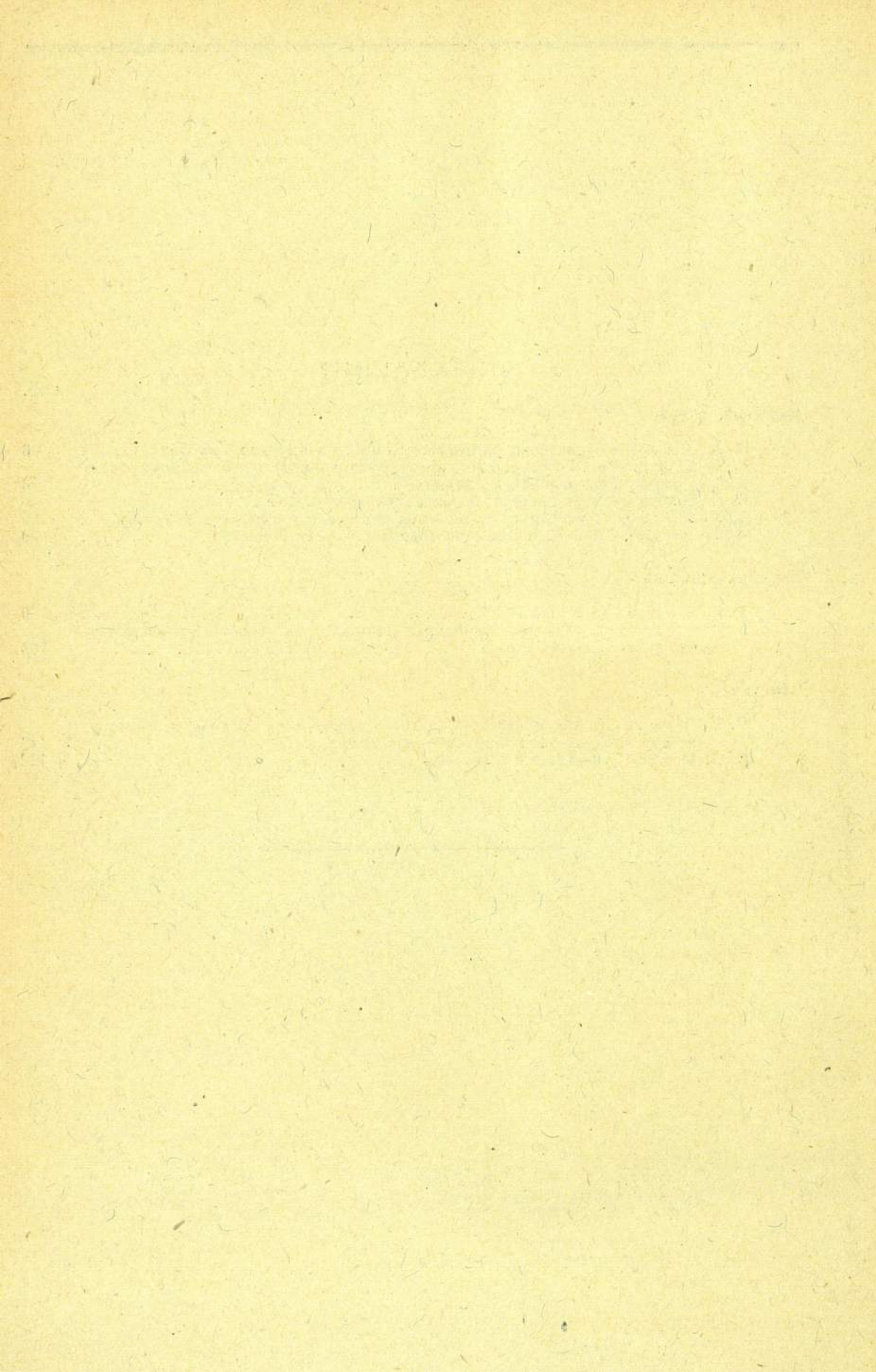
Корректор *М. Т. Иванова*.

Сдано в набор 25 апреля 1940 г. Подписано к печати 25 июля 1940 г.
Бум. 70×108. Печ. л. 7 $\frac{1}{4}$. Бум. л. 3 $\frac{1}{4}$. Уч.-авт. л. 13. 110 000 тип. зн. в 1 б. л. Леноблгорлит № 3140.
Тираж 750 экз. Инд. П-321. Зак. № 1484.

Типография Лениздата № 3, им. „Коминтерна“, Ленинград, Красная ул., 1.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Научный отдел	
И. А. Киреев. Поведение магнитного компаса в высоких широтах	6
Е. Я. Щеголев. О применении интерференционных радиодальномеров на корабле, находящемся в движении	34
В. Л. Пуриков. К вопросу о прочности льда	45
А. И. Косой. О методике определения склонения на дрейфующем льду . . .	75
И. П. Коровкин. Материалы по гидрологии реки Хатанги	79
Научная хроника	
А. И. Краснов. Эхолоты	99
А. И. Краснов. Основные принципы установки на корабле магнитострик- ционного эхолота Хьюз	108
Заметки	
П. Н. Яльцев. Аналитический способ нахождения широты и долготы взамен графического в приеме Сент-Илера	119
Н. А. Фохт. Без звездного времени	122



И. А. КИРЕЕВ

ПОВЕДЕНИЕ МАГНИТНОГО КОМПАСА В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

(По наблюдениям в экспедиции на л/п „Малыгин“ в 1937 году)

1. Общие замечания

Вопрос о поведении магнитного компаса в Арктике в том виде, в каком он находится в настоящее время, продолжает оставаться вопросом, который ждет своего исследователя. Приведенный ниже обзор является не более чем материалом, единственное достоинство которого заключается, быть может, в его достоверности, поскольку при обработке произведенных в 1937 г. наблюдений были применены наиболее совершенные (в современном смысле слова) методы и вся вообще работа была выполнена очень тщательно. Но наблюдения не отличались достаточной полнотой, и, в частности, не измерялась горизонтальная направляющая сила λH , поэтому общий характер изменений девиации был выяснен достаточно подробно и точно, но проанализировать явление до конца оказалось невозможным.

Теоретически, ввиду постоянства коэффициента λ , направляющая сила $H' = \lambda H$ должна изменяться с изменением горизонтальной составляющей H , причем до сих пор считалось аксиомой, что попутно с изменением магнитной широты изменяется полукруговая девиация, вызываемая силами $B\lambda H$ и $C\lambda H$, в то время как постоянная и четвертная девиации, вызываемые соответственно силами $A\lambda H$, $D\lambda H$ и $E\lambda H$, с изменением H не меняются. Кроме того, было известно о существовании явления полупостоянного магнетизма, опять-таки связанного с изменением полукруговой девиации и не оказывающего влияния на величину четвертной девиации.

Практически, в результате известных нам многочисленных наблюдений, произведенных в Арктике на различных ледокольных судах, пароходах и гидрографических ботах в период с 1934 по 1938 г., с несомненностью установлено, что абсолютная величина суммарной девиации независимо от ее происхождения более или менее резко увеличивается по мере продвижения судна на север и постепенно возвращается к исходному значению при перемещении судна на юг. По этому поводу в печати высказан ряд предположений либо о преимущественном влиянии изменения магнитной широты (т. е. H и Z), либо о влиянии продолжительности плавания в тяжелых льдах, либо о явлении намагничивания на пути к проливу Бориса Вилькицкого (полупостоянный магнетизм), и т. д. Но, как уже упоминалось, окончательных выводов никем не было сделано, и теоретическая сторона вопроса была и осталась невыясненной.

Основными материалами, которые могли быть использованы до настоящего времени, были, во-первых, наблюдения, произведенные в экспедициях на л/п „Седов“ в 1934 г. и на л/п „Малыгин“ в 1935 и 1936 гг. [1, стр. 45—49], [2, стр. 104—106 и 123—128], и, во-вторых, данные, полученные в 1935 г. на п/х „Ванцетти“ [3]. Из них наблюдения на ледокольных пароходах „Седов“ и „Малыгин“ (1934—1936 гг.) относятся только к Карскому морю; но их ценность заключается в том, что в каждом из этих плаваний было произведено полное определение девиации не только в исходном пункте (в Архангельске), но и на рейде у о. Диксона, а в одном случае (в 1935 г.) также и в бухте Поспелова. Наблюдения на п/х „Ванцетти“ были произведены на всей трассе Северного морского пути, причем выяснилось, что наиболее резкие изменения в величинах девиации происходили в районе к востоку от пролива Бориса Вилькицкого; недостатком этих наблюдений являются отсутствие данных о девиации на рейде у о. Диксона и несовершенство методов обработки (не учитывались вариации склонения).

Значительно полнее были наблюдения, произведенные в экспедиции на л/п „Малыгин“ в 1937 г. Правда, ледокол попал в дрейф и вернулся в Архангельск только в октябре 1938 г., причем в Архангельске повторного определения девиации произведено не было. Но зато в течение всего летнего плавания, продолжавшегося с 4 июля по 23 октября 1937 г. в обширном районе от Архангельска до Чаунской губы включительно, производились ежечасные показания главного компаса с показаниями гирокомпаса. Иногда записывались также показания путевого компаса, а также учебного компаса, установленного специально для студентов Гидрографического института на крыше навигационной рубки, которая была сооружена на мостике в 5 м позади штурманской рубки. Все три магнитных компаса — главный, путевой и учебный — были 5" компасами в жидкости.

Идея наблюдений заключалась в том, чтобы из сравнения показаний магнитного компаса с показаниями гирокомпаса вывести общую поправку магнитного компаса, которая сравнивалась с магнитным склонением, откуда и определялась девиация на данном компасном курсе. Конечно, это были лишь попутные наблюдения, производившиеся без всякой специальной затраты времени. Если бы, по условиям плавания, можно было организовать планомерные наблюдения, то производились бы специальные разрезы (по направлению, перпендикулярному к общему направлению изодинам), причем на каждой станции производились бы определения общей поправки и измерения сил λH на 8 компасных курсах. Только такая работа, соединенная с экспериментальным определением склонения (и с применением надежного способа учета вариаций склонения), и могла бы дать исчерпывающие результаты.

Все же, несмотря на то, что наблюдения производились лишь попутно, собран был ценный фактический материал. В общей сложности было произведено около 3300 сличений компасов, и при этом по большей части в зоне $H < 0,070$ дин. Степень точности девиации, определенной этим способом, зависела от ряда факторов, из которых важнейшими являются следующие:

- ϵ_1 — ошибки отсчетов по картушке,
- ϵ_2 — ошибки показаний гирокомпаса,
- ϵ_3 — ошибки в проведении изогон на карте и
- ϵ_4 — ошибки в определении вариаций склонения.

Рассмотрим влияние каждой ошибки в отдельности.

2. Ошибки отсчетов по картушке

С учетом ширины делений картушки 5" компаса и существующей толщины курсовой черты можно полагать, что средняя ошибка общей поправки, выведенной из сличения показания гирокомпаса с показанием магнитного компаса, составляла $\epsilon_1 = \pm 1/2^\circ$.

Эта величина E_1 относится к исправному и выверенному компасу, а также к нормальным условиям наблюдений, т. е. на твердом курсе, при отсутствии хождения и застоя картушки. При наличии одного из последних двух факторов вообще не может быть речи о выводе средней ошибки отсчета, поэтому сличения компасов никогда не производились на циркуляции или тотчас после перемены курса.

Относительно застоя картушек 5" компасов в Арктике экспериментальных данных не имеется. Теоретически есть все основания полагать, что этот застой существует; он проявляется даже в средних широтах, где направляющая сила λH значительно больше, чем в Арктике. На „Малыгине“, если не считать резкого увеличения девиации в районе к востоку от пролива Бориса Вилькицкого, никаких явлений катастрофического характера не замечалось. Но в рейсовых донесениях капитанов многих пароходов, плававших в Арктике, имеется ряд сведений именно о катастрофических случаях ненормальной работы магнитных компасов. Так, например, при плавания близ о-вов Андрея компасный курс, проложенный вдоль берега, выводил прямо на берег. На п/х „Урицкий“ 11 сентября 1937 г. в районе мыса Голодного было замечено, что „компасы застревают, давая показания с ошибкой 90—120°“.

Можно полагать, что указанные выше случаи происходили у компасов с размагнитившимися стрелками. Но и при нормальных условиях случаи некоторого застоя теоретически были вполне возможны.

3. Работа гирокомпаса

Гирокомпас был установлен на „Малыгине“ в 1935 г. А. И. Красновым. В течение всего плавания 1935 г. гирокомпас действовал безукоризненно, в 1936 г. — крайне неудовлетворительно, а в 1937 г. замеченные в 1936 г. технические дефекты были устранены и существенных недостатков в работе гирокомпаса по большей части не наблюдалось.

В период с 5 июля по 9 октября 1937 г. поправка гирокомпаса была определена (по солнцу) 71 раз.

Поправка гирокомпаса обычно составляла от -2° до -3° при крайних значениях от $-1/2^\circ$ до -4° . Ошибка ϵ_2 не должна была превышать $\pm 1/2^\circ$.

4. Исправление склонения за вариации

Район, в котором происходило плавание „Малыгина“, был освещен магнитными наблюдениями крайне неравномерно. Надежнее всего была изучена северо-восточная часть Карского моря, и главная заслуга в этом деле принадлежит П. Е. Федулову, который в 1934 и 1935 гг. с успехом применял способ определения склонения на дрейфующих льдинах небольших размеров. С учетом вероятных ошибок в определении вариаций и степени подробности произведенных наблюдений можно полагать, что в районе плавания „Малыгина“ изогочы на карте Карского моря были проведены с точностью от $\pm 0^\circ,2$ до $\pm 0^\circ,5$. Среднюю ошибку склонения, снятого с карты, для Карского моря можно принять равной $\epsilon_3 = \pm 0^\circ,3$.

В проливе Бориса Вилькицкого эта ошибка могла достигать $\pm 1^\circ$, а в море Лаптевых и Восточносибирском море, где до сего времени (в зоне плавания „Малыгина“) были произведены лишь единичные магнитные наблюдения, ошибка ε_3 могла достигать $\pm 3^\circ$.¹ Такова была вероятная точность склонения, величина которого, при обработке результатов сличения компасов, снималась с карты изогон для каждого данного пункта. Назовем эту величину D_k . Она подлежала после этого исправлению за вариации. Прежде чем излагать примененный для этого способ, надо сказать несколько слов о существующих по этому вопросу взглядах.

В соответствии с правилами Группы геомагнитных экспедиций и картографии Главной геофизической обсерватории на каждом опорном пункте суточный ход элементов земного магнетизма должен наблюдаться не менее 5 суток подряд, причем обязательным условием является наличие спокойного поля в течение минимум 3 суток. Общая продолжительность наблюдений увеличивается до 8 суток, если необходимо получить уточненные данные для приведения к эпохе. Правила эти установлены для экспедиционных работ в районах, где интенсивность вариаций больше обычной, наблюдаемой в средних широтах. Для Арктики, где амплитуда суточного хода склонения достигает иногда 1° и более, а магнитные бури могут вызвать изменение склонения на несколько градусов, период пяти-восьмидневных наблюдений, конечно, слишком мал, между тем в подавляющем большинстве случаев приходится довольствоваться результатами еще более кратких наблюдений. В условиях экспедиционных работ в Арктике лишь очень редко удастся произвести суточные наблюдения вариаций склонения, обычно же (особенно при работе на льду) дело сводится к производству серии эпизодических наблюдений. Как поступать в таких случаях, и можно ли говорить, что результаты подобных кратковременных наблюдений не могут быть использованы не только для целей магнитной съемки, но и для надобностей мореплавания?

По этому поводу П. Е. Федулов пишет [1, стр. 29]:

„Располагая лишь результатами непосредственных наблюдений, бесполезно вводить какие бы то ни было поправки, кроме приведенных к стандартным приборам Слуцка. Мы еще не выработали более или менее надежного способа исправления за вариации наблюдений, производившихся в Арктике. Те способы, которые иногда применялись для этого, а также и для приведения к эпохе, нельзя считать пригодными — они недостаточно обоснованы.

Наблюдения в экспедиции на л/п „Седов“ производились как в районе максимальной изохазмы, так и много севернее ее. Между тем несомненно, что при этом меняется не только размер вариации, но даже и самый характер ее. Об этом свидетельствует работа, производившаяся в последнее время, в частности, Н. В. Пушкиным в Слуцкой магнитной обсерватории. Следовательно, до проработки и хотя бы до предварительного выяснения вопроса о распределении вариаций в Арктике нельзя достаточно надежно пользоваться данными Земли Франца-Иосифа, Диксона и Маточкина Шара для съемки в Карском море. Иначе приведение, сделанное по обычным правилам, было бы только формальным и ухудшающим результаты“.

С точки зрения требований группы геомагнитных экспедиций и картографии ГГО все эти рассуждения были совершенно правильными; но для

¹ Как будет видно из дальнейшего, в процессе обработки, с учетом новых данных, удалось значительно исправить карту изогон, благодаря чему ошибка ε_3 в море Лаптевых также не должна была превышать $\pm 1^\circ$.

практических целей мореплавания, где не требуется высокой точности, оставаться на этой точке зрения было бы невозможно, и в следующей работе, зимой 1935/36 г., на основе произведенных в 1935 г. наблюдений, П. Е. Федулов считал необходимым ввести в наблюдаемые величины приближенные поправки за суточные вариации [2, стр. 172]. Для этой цели были использованы данные о вариациях склонения во время экспедиции на „Мод“ в 1918—1919 гг. и на магнитных станциях о. Диксона, мыса Челюскина и бухты Тихой, а также во время экспедиций 1934 г.

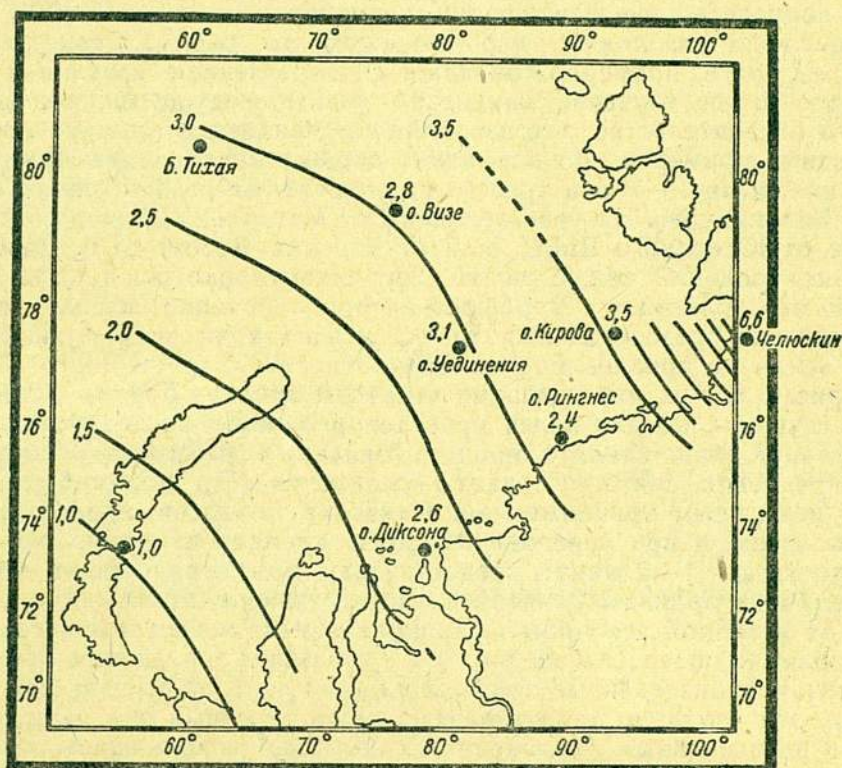


Рис. 1. Схема распределения суточного хода склонения в Карском море (по П. Е. Федулову).

на „Седове“ и 1935 г. на „Малыгине“, когда П. Е. Федулов произвел отрывочные (менее, чем 24-часовые) наблюдения на островах Визе, Уединения, Рингнес, Кирова и Русском.

Отбросив точки, которые отскакивали от осредненных кривых, П. Е. Федулов получил приближенную зависимость между амплитудами изменения склонения на островных точках и на магнитных станциях (за те же промежутки времени). На основе этих данных была построена схема распределения суточного хода склонения (рис. 1). На этой схеме амплитуда на станции Маточкин Шар принята за единицу. По данным магнитных станций, коэффициент пропорциональности в летние месяцы для о. Диксона составил (в 1935 г.) 2,6, для бухты Тихой 3,0, для Челюскина 7,3, а для Челюскина за весь 1935 г. 5,8; в среднем для Челюскина принят коэффициент пропорциональности 6,6. Таким образом, на мысе Челюскина вариации суточного хода D в среднем в 6,6 раза больше, чем в Маточ-

кином Шаре, и в $6,6:2,6=2,5$ раза больше, чем на о. Диксона. На основе этих данных и были сделаны приведения для приближенного построения изогон на навигационной карте № 1484. Как уже упоминалось, изогонны были проведены с точностью, при которой ошибки в определении снятого с карты склонения не должны были превышать $0,3-1^\circ$. Для навигационных целей в условиях плавания в Арктике эта точность достаточна; следовательно, с помощью экспедиционных магнитных наблюдений гидрография с успехом может снабдить судоводителя удовлетворительными данными о распределении величин склонения. Остается помочь мореплавателю в вопросе об учете вариаций склонения.

Направление изолиний, изображенных на рис. 1, как указывает П. Е. Федулов, примерно совпадает с направлением изоклин и изодин. В вопросе же об изучении изменений девиации существенное значение имеет то обстоятельство, что изолинии коэффициента пропорциональности направлены, примерно, по нормали к общему направлению Таймырского берега или, иначе, — к оси трассы на участке от о. Диксона до пролива Бориса Вилькицкого. На участке трассы от Маточкина Шара до о. Диксона а также от Югорского Шара (или от Карских Ворот) до о. Диксона направление изолиний также почти перпендикулярно оси трассы. Обстоятельство это облегчает и упрощает интерполирование величин вариаций склонения для промежуточных точек, лежащих на всем пути судна от Новой Земли до пролива Бориса Вилькицкого.

На рис. 1 видно, что изолинии в районе пролива Бориса Вилькицкого сильно сгущены, но для целей приведенного ниже исследования изменение вариаций было принято пропорциональным расстоянию. Дело в том, что исправление снятого с карты склонения (D_k) может быть сделано лишь с некоторым приближением. Сличение компасов производилось по судовым часам, и при переводе поясного времени на гринвичское ошибка могла достигать 1—2 минут, следовательно при беспокойном магнитном поле величина ординаты, снятой с магнитограммы, могла несколько отличаться от истинной величины вариации в момент сличения компасов. Кроме того, изолинии построены на рис. 1 в результате осреднения, при котором наблюдения, произведенные при беспокойном поле, отбрасывались; другими словами, эти изолинии характеризуют лишь суточный ход вариаций склонения, а не случайные отклонения, вызванные возмущением магнитного поля (магнитной бурей). При обработке же наблюдений по сличению компасов в силу необходимости приходится учитывать суммарную величину ординаты, включающую величину суточного хода и некоторую величину возмущения. Наконец и вся схема, изображенная на рис. 1, представляет собой лишь результат первого приближения. По всем этим соображениям исправление снятой с карты величины склонения D_k производилось следующим образом.

Если, например, „Малыгин“ находился в какой-либо точке А, лежащей в районе к востоку от меридиана о. Диксона, то на карте из этой точки опускался перпендикуляр на прямую, соединяющую о. Диксона и мыс Челюскина (рис. 2) и V_A — вариация склонения для точки А — определялась по расчету:

$$V_A = V_D + (V_r - V_D) \cdot \frac{a}{a+b}, \quad (1)$$

где a и b — проекции расстояний от точки А соответственно до о. Диксона и до мыса Челюскина, а величина $V_r - V_D$ представляет собой разность вариаций склонения на мысе Челюскина и на о. Диксона.

Ординаты y , снятые с магнитограмм для станции о. Диксона и мыса Челюскина, сравнивать непосредственно нельзя, так как они относятся к различным нормальным положениям D_0 .

Пусть

$$\Delta D' = D_0' - D'_{\text{ср. год.}} \quad (2)$$

представляет постоянную поправку для приведения среднегодовой величины склонения $D'_{\text{ср. год.}}$ к нормальному положению D_0 на о. Диксона. Обозначим аналогичную величину на мысе Челюскина через

$$\Delta D'' = D_0'' - D''_{\text{ср. год.}} \quad (3)$$

Тогда вариации склонения, т. е. отклонения истинной величины склонения (в данный момент) от среднегодовой величины склонения, составят:

$$V_D = \Delta D' + y_D, \quad (4)$$

$$V_r = \Delta D'' + y_r, \quad (5)$$

где $y_D - y_r$ — ординаты, снятые с соответствующим знаком с магнитограмм станций Диксона и Челюскина.

Исправленное склонение D_A в точке А в момент сличения компасов определится по расчету:

$$D_A = D_k + V_A, \quad (6)$$

где D_k — среднегодовая (снятая с карты изогон) величина склонения в точке А.

Пример. Требуется определить склонение 4 августа 1937 г. в 13 ч. 34 м. по гриничскому времени в широте $75^{\circ}37',4$ и долготе $89^{\circ}28'$.

Склонение, снятое с карты изогон, $D_k = 29^{\circ}45'$

Нормальное положение на о. Диксона $D_0' = 26^{\circ}50'$

Нормальное положение на мысе Челюскина $D_0'' = 26^{\circ}44'$

Среднегодовое склонение на о. Диксона $D = 28^{\circ}28'$

Среднегодовое склонение на мысе Челюскина $D = 25^{\circ}14'$

Ордината магнитограммы на о. Диксона $y' = +1^{\circ}05'$

Ордината магнитограммы на мысе Челюскина $y'' = +0^{\circ}08'$

$a = 190$ миль, $b = 225$ миль.

По формулам (2) и (3):

$$\Delta D' = 26^{\circ}50' - 28^{\circ}28' = -98';$$

$$\Delta D'' = 26^{\circ}44' - 25^{\circ}14' = +90'.$$

Далее по формулам (4) и (5) определяем вариации:

$$V_D = 98' + 66' = -32';$$

$$V_r = 90' + 08' = +98'.$$

По формуле (1) вариации в точке наблюдения

$$V_A = 32 + \{190 : (190 + 225)\} \cdot (98 - 32) = +28'.$$

Отсюда по формуле (6) склонение в точке наблюдения

$$D_A = 29^{\circ}45' + 28' = 30^{\circ}2'.$$

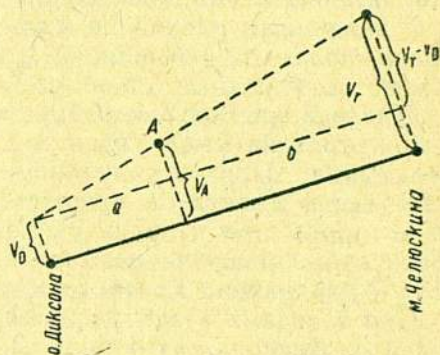


Рис. 2. Схема определения вариаций склонения в Карском море.

В данном примере умышленно разобран случай, когда магнитное поле было неспокойно, вследствие чего примененный здесь способ исправления

склонения за вариации нельзя считать достаточно надежным, поскольку имеются данные о превышении вариаций в районе архипелага Норденшельда над величиной вариаций на мысе Челюскина. В журнале обработки сличений компасов обработаны все без исключения наблюдения (независимо от абсолютной величины вариаций), но при дальнейшей обработке, т. е. при составлении диаграмм девиации, все наблюдения, произведенные при неспокойном поле (в общем случае при наличии вариаций на мысе Челюскина свыше 1°), обычно отбрасывались; к тому же и точки, соответствовавшие подобным наблюдениям, обычно отскакивали от осредненных кривых. Другими словами, было принято за правило учитывать для окончательных выводов только те наблюдения, которые были произведены при наличии вариаций на мысе Челюскина менее 1° . При этом условии можно полагать, что ошибка ϵ_4 в определении вариаций склонения в среднем не должна была превышать $\pm 1/2^\circ$.

Для района Восточносибирского моря условно были приняты данные о вариациях на мысе Уэлен, а для моря Лаптевых — данные станции мыса Челюскина. При неспокойном поле подобный способ учета вариаций естественно вызвал бы существенные ошибки; но при принятом правиле, по которому при наличии вариаций на опорной станции свыше 1° наблюдения отбрасывались, ошибки едва ли превышали указанную величину ($\pm 1/2^\circ$) для района Карского моря.

При плавании в западной части Карского моря, в районе к W от меридиана о. Диксона, учет вариаций производился по данным о вариациях на станциях Маточкин Шар и Диксон, причем применялись те же формулы, что и в случае плавания в восточной части Карского моря.

5. Средняя ошибка величины девиации, определенной по результату одного сличения компасов

В конечном итоге можно полагать, что средняя ошибка величины девиации, определенной по результату данного сличения, в Карском море выразилась величиной:

а) для ежечасных наблюдений и вообще при наблюдениях на твердом курсе

$$\Sigma = \sqrt{0,5^2 + 0,5^2 + 0,3^2 + 0,5^2} = 0,9;$$

б) для 5-минутных наблюдений можно полагать, что ошибка отсчета по картушке достигала величины $\Sigma_1 = \pm 1^\circ$; отсюда

$$\Sigma = \sqrt{1 + 0,5^2 + 0,3^2 + 0,5^2} = 1 1/4^\circ.$$

В проливе Бориса Вилькицкого, в море Лаптевых и Восточносибирском море ошибка Σ могла составлять от $1 1/4^\circ$ до $1 1/2^\circ$.

6. Характеристики изменений девиации

Чтобы иметь возможность сравнивать между собою величины девиации, определенной при различных условиях на одном и том же судне или на различных судах, надо принять какой-либо условный модуль или градиент девиации. С точки зрения строгого математического анализа это могло бы быть сделано только в том случае, если бы две сравниваемые величины были полноценными по степени точности, причем исходная величина должна быть > 0 , т. е. сравнение можно делать только тогда, когда

явление уже само по себе проявилось, а не находится в скрытом потенциальном состоянии. Так, например, если в исходной точке (в Архангельске или в Мурманске) при уничтожении девиации она была доведена до нуля или почти до нуля, то и почти все коэффициенты девиации были равны нулю, т. е. не имели знака; трудно сравнивать с этими величинами данные, полученные в плавании, когда девиация (и коэффициенты девиации) достигла уже на некоторых курсах нескольких градусов. Ошибка в выводе модуля будет в этом случае слишком велика, и, кроме того, нельзя будет судить об изменениях в знаках коэффициентов девиации, если в исходной точке коэффициенты были равны нулю.

В прежние годы (1934—1936), когда не имелось достаточных материалов, сравнение приходилось делать именно этим упрощенным способом, т. е. сравнивалась величина девиации, определенной на рейде о. Диксона, с величиной остаточной девиации, определенной после уничтожения девиации в Архангельске. Сравнивались величины, именовавшиеся характеристиками девиации, а именно:

$\delta_{\text{ср.}}$ — средняя девиация и

R — амплитуда или абсолютная разность между крайними значениями девиации.

Средняя девиация представляет среднее арифметическое из всех значений девиации, вычисленных для 24 и 36 курсов по результату определения девиации на 8 компасных курсах.¹

Величина $\delta_{\text{ср.}}$ в Архангельске после уничтожения девиации обычно бывает меньше 1° , а после перехода судна в Карское море или в море Лаптевых она в несколько раз увеличивается, и степень этого увеличения характеризуется величиной отношения

$$\mu_A = \frac{\delta_{\text{ср.}}(A)}{\delta_{\text{ср.}}},$$

где $\delta_{\text{ср.}}$ — средняя девиация в Архангельске или вообще в том пункте, где уничтожалась девиация, а $\delta_{\text{ср.}}(A)$ — средняя величина девиации в данном пункте.

Однородная характеристика R дает возможность судить о пределах, в которых изменились крайние значения девиации (с различными знаками). Так, например, в 1934 г. на л/п „Седов“, после почти двухмесячного плавания во льдах Карского моря, величина R на рейде о. Диксона у главного компаса ($5''$ в жидкости) достигла $21^\circ,3$ против $1^\circ,9$ в Архангельске. У путевого компаса ($8''$ в жидкости), повидимому благодаря большей величине магнитного момента компасной стрелки, величина R составила всего $7^\circ,0$ против $1^\circ,8$ в Архангельске. Средняя девиация главного и путевого компасов составила соответственно: в Архангельске $0^\circ,6$ и $0^\circ,4$ и у о. Диксона $6^\circ,3$ и $2^\circ,7$.

Данные, касающиеся изменений девиации компасов на л/п „Малыгин“, приведены в табл. 1.

Величины горизонтальной составляющей H в бухте Поспелова и на рейде о. Диксона почти одинаковы; поэтому, поскольку изменения полукруговой девиации зависят от величины H , можно объединить в одну

¹ Таким образом при вычислении $\delta_{\text{ср.}}$ знак девиации не учитывается. В противоположность этой величине среднее алгебраическое из всех значений девиации по величине и по знаку соответствует величине коэффициента A .

Таблица I

Дата	Место определения девиации на 8 компасных курсах	Условия плавания в промежутки времени между двумя определениями девиации	Род компаса	Средняя девиация		Амплитуда изменений девиации	
				$\rho_{\text{ср.}}$	μ_A	R	ρ_A
1935 г. 5/VII	Архангельск	После уничтожения девиации	Главный 5"	0°2	1	0°8	1
20/VII	В бухте Поспелова	По чистой воде и по разводьям	"	0 9	4,5	2 6	3,2
11/VIII	У о. Диксона	Во льдах различной сплошности	"	2 7	13,5	8 5	10,6
1936 г. 28/VII	Архангельск	После уничтожения девиации	"	0 4	1	1 0	1
12/VIII	У о. Диксона	По чистой воде и по разводьям	"	1 4	3,5	3 8	3,8
1937 г. 2/VII	Архангельск	После уничтожения девиации	"	0 6	1	3	1
2/VII	То же	То же	Учебный 5"	0 4	1	3	1
29/VII	У о. Диксона	По чистой воде и по разводьям	Главный 5"	2 0	3,3	7 3	2,4
29/VII	То же	То же	Учебный 5"	4 7	11,8	14 8	4,9

группу наблюдения, произведенные 20/VII и 11/VIII 1935 г., 12/VIII 1936 г. и 29/VII 1937 г. Окажется, что для главного компаса характеристики

$$\mu \text{ и } \rho = \frac{R(A)}{R}$$

в четырех случаях были почти одинаковыми; средняя девиация и амплитуда R у о. Диксона, после плавания по чистой воде и разводьям, примерно в 3—4 раза превышали соответственные величины, определенные в Архангельске. Можно было полагать, что это изменение произошло вследствие уменьшения H у о. Диксона по сравнению с величиной H в Архангельске.

Но в одном случае, 11 августа 1935 г., средняя девиация и амплитуда на рейде о. Диксона после плавания во льдах возросли соответственно в 13,5 и 10,6 раза по сравнению с тем, что было определено в Архангельске. Как увидим далее, и в 1937 г. были получены приближенные данные, свидетельствовавшие о том, что при форсировании льда средняя девиация и амплитуда R в зоне $H=0,065$ динь возросли соответственно в 12,2 и 8,6 раза по сравнению с тем, что было определено в Архангельске; при отсутствии же льда характеристики в той же зоне H были:

$$\mu = 5 \quad \text{и} \quad \rho = 4,3.$$

Воздерживаясь пока от выводов, надо лишь заметить, что основным недостатком полученных таким путем данных являлось наличие всего лишь

двух точек; при построении кривой зависимости между μ и H приходилось, следовательно, допускать, что между этими элементами существует линейная зависимость. Однако уже и тогда (точнее в 1934 г.) на основе отрывочных и неполноценных данных было высказано предположение о том, что кривая зависимости между μ и H при плавании в Арктике имеет параболический характер. В настоящее время можно полагать, что эта зависимость выражается гиперболической кривой, вытянутая ветвь которой асимптотически приближается к оси y ($\delta_{\text{ср.}}$), так как при $H=0$ (на магнитном полюсе) девиация, поскольку она зависит от H , должна достигать значения $\delta_{\text{ср.}}(\text{max})=\infty$.

Конечно, примененный способ вывода характеристик девиации ($\delta_{\text{ср.}}$ и R) математически не является совершенным. Он дает возможность более или менее точно судить лишь об изменениях суммарной величины девиации; но он вносит все же некоторую ясность в рассматриваемое явление, поэтому до поры до времени им придется пользоваться и в дальнейшем.

7. Девиация главного компаса на л/п „Малыгин“ в 1937 году

После того как были учтены вариации (п. 4), в сводном журнале наблюдений, произведенных во время экспедиции 1937 г., были проставлены соответствующие величины девиации, определенные как разность между магнитным курсом (определенным по гирокомпасу плюс исправленное склонение) и компасным курсом. В дальнейшем все произведенные наблюдения были систематизированы по зонам H через каждые 100 γ . Для этого автором была составлена по новейшим данным карта изогон и изодинам H ; при составлении этой карты, помимо прежних данных, были учтены результаты всех магнитных наблюдений, произведенных в 1937 г. на ледокольных пароходах „Малыгин“ и „Седов“, т. е. главным образом были использованы данные, помещенные в отчете Д. С. Фоменко. При этом изодинамы проводились на карте только в пределах тех районов, где происходило плавание л/п „Малыгин“. Можно полагать, что сами по себе изодинамы H проведены с очень небольшой ошибкой порядка не более $\pm 10\gamma$, но при дальнейшей обработке вовсе не учитывались вариации H , поэтому при спокойном поле выводы могли быть неточными. Это соображение послужило еще одной причиной, по которой из исследования были исключены все наблюдения, произведенные при беспокойном магнитном поле.

В общей сложности для главного компаса имеется 1633 наблюдения. Как уже упоминалось, сличения производились попутно, без всякой специальной затраты времени; поэтому тогда же, в плавании, учитывалось, что число наблюдений, произведенных при данных условиях, может оказаться недостаточным для построения полной диаграммы Непира, и решено было производить не только ежечасные сличения, но и более частые; например, при плавании во льдах сличения делались через каждые 5–10 минут. Всего было произведено 310 подобных учащенных сличений. Естественно, что они не могли отличаться такой же точностью, как и ежечасные, так как при плавании во льдах переменными курсами трудно было уловить момент, когда судно твердо держалось на курсе; здесь же могло сказаться влияние застоя картушки. На этом основании при обработке 5-минутные наблюдения были учтены особо. Их главное значение заключалось в том, что они давали много дополнительных точек для построения полной диаграммы девиации; и действительно, для главного компаса в зоне H от 0,040 до 0,050 нехватило ежечасных наблюдений для построе-

ния диаграммы девиации на компасных курсах от 300 до 350°, но на этом же промежутке 5-минутные наблюдения дали вполне согласный материал, который и был использован для построения недостающей части диаграммы.

Из общего числа 1323 ежечасных сличений для построения диаграмм могло быть использовано 1074 наблюдения, распределившихся по зонам H следующим образом:

Таблица 2

Зоны H	0,100—0,110	0,090—0,099	0,080—0,089	0,070—0,079	0,060—0,069	0,050—0,059	0,040—0,049	0,039
Число использованных наблюдений	52	62	40	180	345	135	255	5

Как видно из этой таблицы, число наблюдений в некоторых зонах было слишком мало; поэтому диаграммы были построены только для 4 зон. Самое построение производилось следующим образом.

Точки наносились на миллиметровке в масштабе:

$$\begin{aligned} \text{для к. к.} & \quad 1 \text{ мм} = 1^\circ \\ \text{„ девиации} & \quad 1 \text{ „} = 0,2 \end{aligned}$$

После их нанесения на диаграмму точки ложились в виде довольно широкой, но отчетливо выраженной полосы, в стороне от которой оставались лишь немногие точки (о них будет сказано далее). Точки и не могли лечь на одной кривой, так как величина H в пределах каждой диаграммы колебалась на 50 γ в обе стороны от средней величины, к которой и были отнесены все произведенные наблюдения, т. е. по геометрическим центрам тяжести наложенных точек была проведена осредненная кривая, которая и представила собою диаграмму девиации для среднего значения H .

После этого с диаграммы были сняты значения δ через 10° и были вычислены характеристики $\delta_{\text{ср.}}$ и R . Считая все наблюдения равноточными, можно полагать, что средняя точность девиации, снятой с подобной диаграммы, составляла $\pm 1^\circ$; такова же была средняя точность характеристик девиации ($\delta_{\text{ср.}}$ и R) и коэффициентов девиации.

Из числа 310 учащенных наблюдений большинство 10-минутных наблюдений было использовано при составлении графиков девиации по еже-часным наблюдениям, так как точки ложились близко к осредненной кривой. Результаты 5-минутных наблюдений использованы особо для построения трех графиков; всего было использовано 172 наблюдения, а именно:

$$\begin{aligned} \text{для зоны } H &= 0,048 - 82 \text{ точки} \\ \text{„ „ } H &= 0,055 - 83 \text{ „} \\ \text{„ „ } H &= 0,065 - 7 \text{ „} \end{aligned}$$

На каждом графике девиации для сравнения была нанесена диаграмма девиации, определенной 29 июля 1937 г. при совершенно спокойном ма-

нитном поле на рейде у о. Диксона ($H=0,070$). Девияция была определена на 8 компасных курсах и вычислена на 24 к. к. (через 15°).

Рассмотрим полученные итоги для каждой зоны H в отдельности.

а) Зона H от 0,040 до 0,049 включительно

Наибольший интерес представляет рис. 3, составленный по большому числу наблюдений (255) для наименьшей зоны H . Как видно на рис. 3, общий характер девиации при $H=0,045$ остался, примерно, таким же, как и у о. Диксона (о характере изменения коэффициентов девиации B, C, D и E будет сказано особо). При этом $A=-0^\circ,2$, $\delta_{\text{ср.}}=4^\circ,7$, $R=20^\circ,4$. Незначительная величина A показывает, что систематические ошибки в определении склонения и поправки гирокомпаса были малы. По этому поводу надо заметить следующее.

Первоначально обработка велась по карте изогон, составленной в Гидрографическом управлении Главсевморпути для навигационных карт издания 1939 г. При составлении этой карты И. М. Рогачев обобщал и упрощал имевшиеся данные, причем не все имеющиеся сейчас материалы могли быть им использованы. Диаграмма девиации, построенная на основе этих данных для $H=0,045$ (в море Лаптевых), оказалась сдвинутой на 3° , так как коэффициент A достиг величины $+3^\circ,2$. Обстоятельство это и побудило автора составить для района плавания л/п „Малыгин“ упоминавшуюся выше новую карту изогон. При этом на карте были произведены значительные изменения в районах архипелага Норденшельда, пролива Бориса Вилькицкого и западной части моря Лаптевых. В последнем районе на навигационных картах издания 1939 г. величина склонения оказалась преувеличенной на $1-3^\circ$, и после внесения соответствующих исправлений в журнал сличений компасов и были получены указанные выше результаты ($A=0^\circ,2$). Отсюда видно, что результаты, полученные при обработке сличений компасов, принесли непосредственную пользу в деле уточнения карты изогон; все изгоны в западной части моря Лаптевых сдвинулись на $1-3^\circ$ к W.

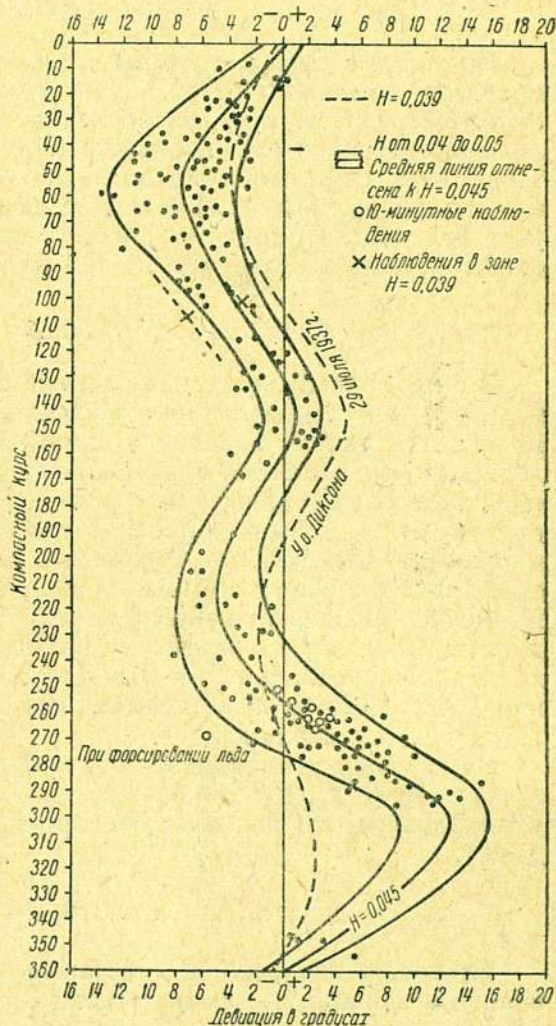


Рис. 3. Девияция главного компаса в зоне H от 0,040 до 0,049 включительно. Средняя линия отнесена к величине $H=0,045$.

Точки, относящиеся к 5-минутным наблюдениям, легли довольно близко к осредненной кривой, отнесенной к $H=0,048$, так как 5-минутные наблюдения производились в зоне H от 0,046 до 0,049 включительно. При этом необходимо иметь в виду, что все эти наблюдения были произведены хоть и на переменных курсах (при плавании в сплоченных льдах), но при плавании по разводьям, без форсирования полей и перемычек, и при отсутствии молодого льда и шуги, т. е. ледокола в момент наблюдения фактически шел по чистой воде.

б) Зона $H=0,039$

На том же рис. 3, который составлен для зоны H от 0,040 до 0,049, показано несколько точек, относящихся к зоне $H=0,039$ (в районе к О от о. Петра, т. е. там, где по заявлениям капитанов пароходов наблюдались наиболее резкие неправильности в действии магнитных компасов). Точек этих слишком мало для выводов, и все, что можно сказать, это то, что некоторые из этих точек ложатся вне зоны точек, относящихся к большей величине H , причем и абсолютная величина девиации, как и следовало ожидать, была больше, чем на тех же компасных курсах, но при $H > 0,039$.

в) Зона H от 0,050 до 0,059 включительно

В этой зоне H часть наблюдений была произведена либо при некоторой неточности в определении поправки гирокомпаса, либо в тех районах, где не имеется вполне надежных данных о величине склонения; об этом свидетельствует величина коэффициента A , составившая $-1^{\circ},0$. В частности обратили на себя внимание 10 точек, не использованных для построения диаграммы и относившихся к наблюдениям (на курсах от 10 до 30°) в районе островов Мона—архипелага Норденшельда; возможно, что величина склонения была здесь больше, чем показано на навигационных картах. К числу неиспользованных точек относится точка 947 (6 сентября в 12 ч. 32 м. по гриничскому времени), отскакивающая от нормального хода девиации на 5—6°; в это время наблюдалось полярное сияние, и магнитное поле было беспокойным, хотя особенно резких вариаций склонения как будто не наблюдалось.

5-минутные наблюдения относились главным образом к компасным курсам от 0 до 160°, и в этих пределах они были использованы для уточнения диаграммы девиации, построенной по результатам ежечасных наблюдений.

г) Зона H от 0,060 до 0,069 включительно

На рис. 4 изображена диаграмма девиации при $H=0,065$ в том виде, в каком она получается по результату многочисленных наблюдений (345 точек).

На том же рис. 4 видно, что в двух случаях (точки 1280 и 1281) наблюдалось резкое изменение девиации на величину около 15°. Произошло это в то время, когда л/п „Малыгин“, находясь на мелководье у Баркинского, при попытке освободить затертое льдами з/с „Ленсовет“ сам застрял в тяжелых льдах и освободился с помощью взрывов аммонала. Взрывы производились в расстоянии 5—10 м от судна. Через час после прекращения подрывных работ девиация у главного компаса стала нормальной.

На рис. 5 нанесены две кривых. Кривая I снята непосредственно с рис. 4, т. е. она характеризует девиацию при плавании в нормальных условиях, по чистой воде. Кривая II построена на основе всего лишь 7 точек и не может считаться достаточно надежной; точки эти относятся к 5-минутным наблюдениям, которые производились при форсировании льда, пробивании

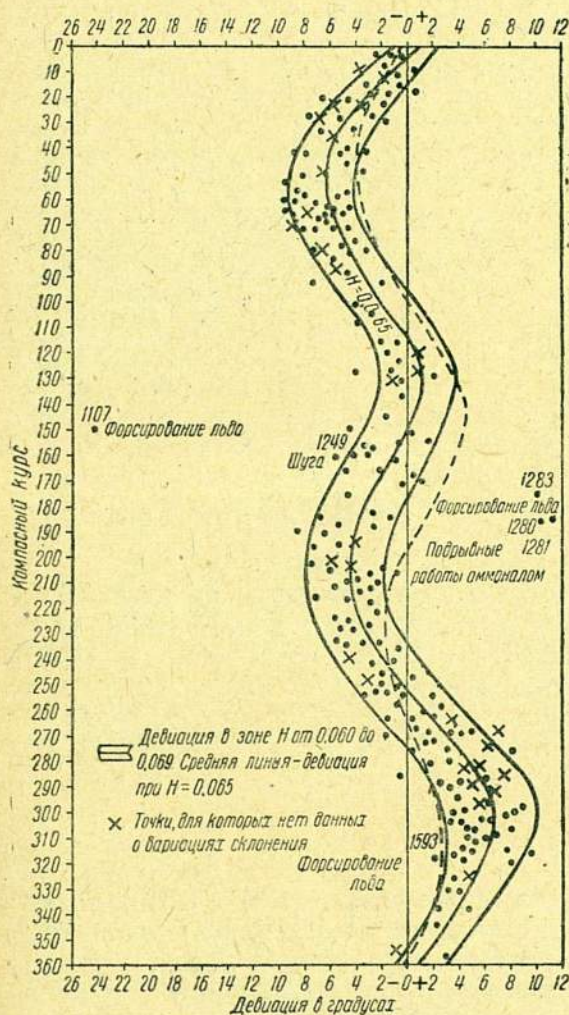


Рис. 4. Девиация главного компаса в зоне H от 0,060 до 0,069 включительно. Средняя линия отнесена к величине $H=0,065$.

перемычек и пр. Во всех 7 случаях девиация резко увеличивалась, и если довериться кривой II, то окажется, что при непосредственном плавании во льдах характеристики девиации в данной зоне H составили:

$$\delta_{\text{ср.}} = 7^{\circ},1 \text{ и } R = 25^{\circ},7,$$

тогда как при плавании по чистой воде, по разводьям и вообще без форсирования льда характеристики девиации в той же зоне $H=0,065$ были:

$$\delta_{\text{ср.}} = 3^{\circ},3 \text{ и } R = 12^{\circ},8.$$

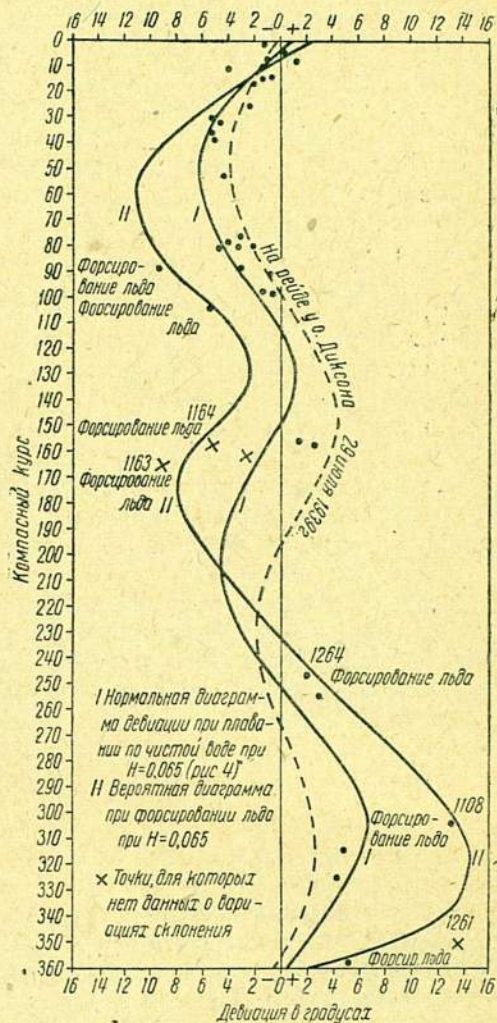


Рис. 5. Девиация главного компаса в зоне $H=0,065$ при формировании льда (по результатам 5-минутных наблюдений).

Подобные же резкие изменения девиации наблюдались при форсировании льда и при плавании в других зонах H . Так, например, на рис. 4 видно, что точка 1249 (плавание в шуге, $H=0,066$) отклонилась от нормальной кривой, например, на 5° , а точка 1283 (пробивание перемычки, $H=0,067$) — примерно на 12° и при этом в другую сторону. В зоне $H=0,055$ (как это видно по результату 5-минутных наблюдений) в 7 случаях, когда форсировался лед, девиация увеличилась по меньшей мере вдвое по сравнению с нормальной кривой, наблюдавшейся при плавании по чистой воде. На рис. 3 (на курсе 270°) видно, что при форсировании льда девиация была на 6° больше, чем при плавании по чистой воде. Вообще необходимо заметить, что во всех случаях, когда форсировался лед, девиация всегда была больше, чем при плавании по чистой воде. Но число наблюдений, производившихся при форсировании льда, вообще было очень мало по сравнению с числом наблюдений, производившихся при плавании по чистой воде (и по разводьям). Достоверных данных, позволяющих утверждать, что эти изменения девиации имели долговременный характер (подобно тому, как это было замечено в 1934 г. на л/п „Седов“ и в 1935 г. на л/п „Малыгин“), в этом плавании получено не было. Наоборот, судя по тому, что в подавляющем большинстве случаев точки ложились близко к нормальной кривой, можно было бы сказать, что изменения девиации, происходившие при форсировании льда, имели лишь самое кратковременное значение, т. е. вскоре после выхода из льда девиация становилась нормальной; однако и это утверждение было бы не вполне обоснованным, так как ничего нельзя сказать о том, не отразились ли на характере „нормальной“ кривой последствия плавания во льдах.

По этому поводу условно можно притти к следующему выводу.

Характер изменений девиации, происходящих при форсировании льда, имеет главным образом лишь теоретический интерес. Практически этот вопрос не имеет существенного значения, поскольку ледоколы и ледокольные пароходы снабжены гирокомпасами, а прочие суда, плавающие в Арктике и не имеющие гирокомпасов, в большинстве случаев идут во льдах за ледоколами, т. е. условия их плавания приближаются при этом к условиям плавания по чистой воде.

д) Зона H от 0,070 до 0,079 включительно

Если говорить о вероятном влиянии форсирования льда на характер девиации при последующем плавании по чистой воде (и по разводьям), то наглядным примером, как будто подтверждающим справедливость этого предположения, является диаграмма девиации, построенная для $H=0,075$ (к тексту не приложена). Плавание в этой зоне нередко сопровождалось форсированием льда (сличений компасов при этом не производилось), и характеристики девиации в общем оказались больше, чем на рейде у о. Диксона, хотя в последнем пункте величина H была меньше. Это видно из следующей таблицы:

$H=0,075$	$\delta_{\text{ср.}}=2^\circ,2$	$R=7^\circ,6$
$H=0,070$	$\delta_{\text{ср.}}=2,0$	$R=7,3$

Но и этот пример не является вполне убедительным, потому что большая величина $A=0^\circ,8$ свидетельствует о некоторой неполноценности этого графика; если уменьшить величину $\delta_{\text{ср.}}$ на половину величины A , то $\delta_{\text{ср.}}$

составит $1^{\circ},8$, что и представит собой наиболее вероятное значение $\delta_{\text{ср.}}$ для зоны $H=0,075$.

е) Зона H от 0,08 до 0,11

В зонах $H=0,08$ и более, число наблюдений было невелико (в сумме около 160), и построить диаграммы по этим данным было невозможно. К тому же 35 точек (суммарно на всех трех кривых) легли далеко в стороне от вероятной кривой девиации, которая должна была расположиться внутри контура, образованного дисконской кривой и нулевой (осевой) линией. Эти 35 точек относятся к периоду с 4 ч. 2 октября по 14 ч. 3 октября, когда л/п „Малыгин“ шел из района к S от о. Новая Сибирь в Чаунскую губу; при этом на компасных курсах от 90 до 140° девиация колебалась в пределах от -2 до -7° против вероятной „нормальной“ величины от 0 до $+1^{\circ}$. Поправка гирокомпаса в течение этого периода не вызвала сомнений, и оставалось бы предположить, что в этом районе на карте на несколько градусов преувеличено склонение; но в этом случае и на возвратном пути, когда л/п „Малыгин“, идя из Чаунской губы в море Лаптевых, 7—9 октября пересекал тот же район на обратных курсах (от 290 до 315°), величина девиации также была бы ненормальной, между тем все относящиеся сюда точки (числом 24) легли очень близко к вероятной „нормальной“ кривой. Никаких видимых причин этих отклонений не усматривается, поэтому остается допустить, что здесь имело место влияние полупостоянного магнетизма, вызванного 30-часовым лежанием в дрейфе (1—2 октября) на курсах, близких N—S.

В связи с этим полезно вспомнить, что некоторыми исследователями (Я. Я. Гаккелем, В. И. Воробьевым) высказывается предположение о преобладающем влиянии полупостоянного магнетизма на продолжительных переходах на участке от о. Диксона до пролива Бориса Вилькицкого на курсах NO—SW и на участке от пролива Бориса Вилькицкого до Восточносибирского моря на курсах SO—NW. Вызываемые при этом изменения девиации по своему знаку соответствуют направлению того сноса к N, причина которого приписывалась ранее действию течения.

В защиту этой теории можно выдвинуть только два соображения:

а) Явление полупостоянного магнетизма действительно существует, и несомненно, что некоторая доля изменений, происходящих в величине и характере девиации при плавании судов в Арктике, действительно вызывается явлением полупостоянного магнетизма. Но какова эта доля—пока неизвестно; можно, однако, полагать, что она незначительна по сравнению с изменениями, происходящими под влиянием главной причины—колебаний величины H и Z (не говоря о влиянии форсирования льда).

б) Господствующее поверхностное течение в западной части моря Лаптевых направлено на S, а не на N, поэтому, если, например, п/х „Правда“ в 1935 г. на пути с востока в пролив Бориса Вилькицкого оказался несенным на 40 миль к N (к о. Малый Таймыр), то объяснялось это, конечно, не действием течения, а влиянием неучтенной на NW курсе сильно увеличивающейся плюсовой девиации; однако, как уже упомянуто в п. „а“, это изменение произошло как под влиянием полупостоянного магнетизма, так и под влиянием уменьшения силы H , но какая из этих двух причин имела первенствующее значение, сказать пока нельзя за недостатком материалов, касающихся изменений силы H .

8. Девиация учебного (студенческого) компаса на л/п „Малыгин“ в 1937 году

Учебный 5" компас в жидкости был установлен на крыше навигационной рубки, сооруженной на верхнем мостике. Позади рубки находились две вентиляторных трубы и несколько далее в корму — дымовая труба, следовательно для этого компаса существенное значение должна была иметь сила cZ . Отсюда ясно, что девиация учебного компаса должна иметь преимущественно характер полукруговой девиации, что и видно на рис. 6.

Характеристика $\delta_{\text{ср.}}$ у учебного компаса при плавании в зонах с малой величиной H в общем была больше, чем у главного компаса; но, несмотря на большие абсолютные значения δ , точки, относящиеся к данной зоне H , в большинстве случаев ложились очень близко к осредненной кривой, так что все использованные наблюдения заслуживают большого доверия, хотя общее их число было сравнительно невелико, а именно:

Таблица 3

Зоны H	0,039	0,040—0,049	0,050—0,059	0,060—0,069	0,070—0,079	0,080—0,099
Число использованных наблюдений . .	5	163	93	258	130	68

Всего для построения графиков было использовано 717 наблюдений из общего числа 1046 произведенных сличений. В общем оказалось возможным использовать около 70% ежедневных и учтенных наблюдений (для главного компаса было использовано 77% наблюдений).

Рассмотрим полученные результаты.

а) Зона H от 0,039 до 0,049 включительно

На рис. 6 изображена диаграмма девиации, построенная для $H=0,047$ по 154 точкам. Характеристики

$$\delta_{\text{ср.}} = 10^{\circ},2 \text{ и } R = 34^{\circ},9 \text{ (} A = 0^{\circ},9 \text{)}$$

оказались значительно больше, чем у главного компаса. Но это увеличение характеристик сказалось уже на рейде у о. Диксона, где по результату произведенного 29 июля определения девиации на 8 компасных курсах было получено:

$$\delta_{\text{ср.}} = 4^{\circ},7 \text{ и } R = 14^{\circ},8.$$

В Архангельске же 2 июля, перед выходом в плавание, было получено:

$$\delta_{\text{ср.}} = 0^{\circ},44 \text{ и } R = 3^{\circ},0.$$

На том же рис. 6 показаны три точки, относящиеся к случаям форсирования льда; они лежат на 3—5° дальше от нормального положения точек при плавании по чистой воде (и по разводьям).

Здесь же для курсов от 0 до 180° схематически нанесена полоса, в пределах которой ложатся немногочисленные (28) точки, относящиеся к наблю-

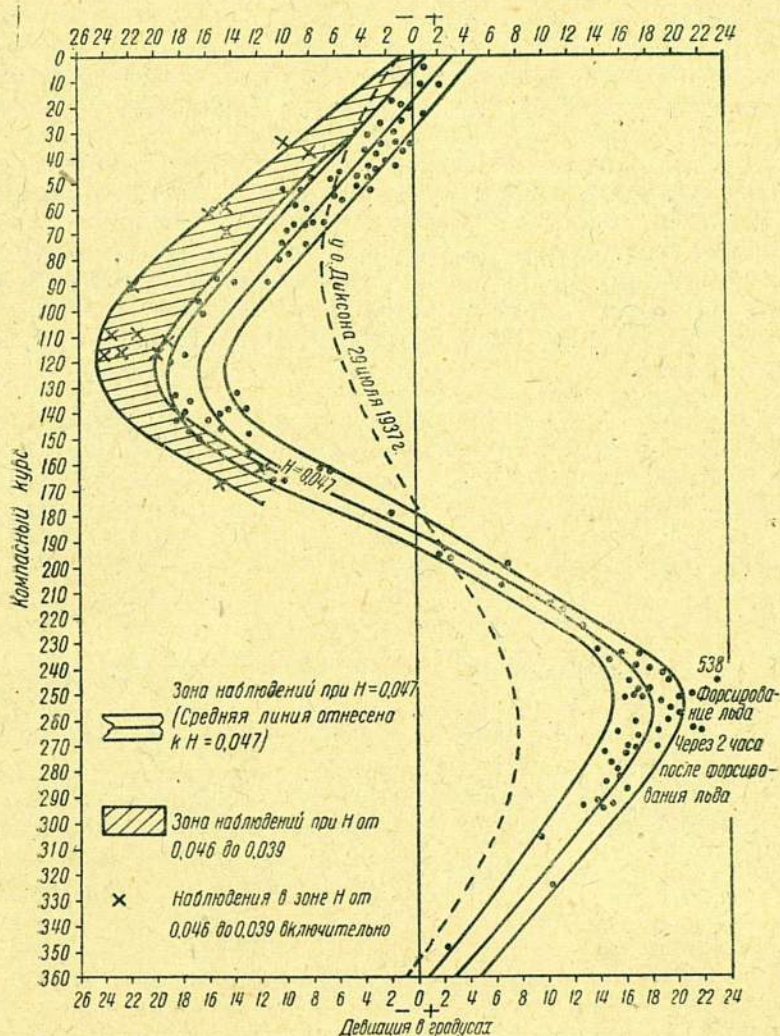


Рис. 6. Девияция учебного компаса в зоне H от 0,046 до 0,049 включительно. Средняя линия отнесена к величине $H=0,048$.

дениям в зоне H от 0,046 до 0,039 включительно. Как и следовало ожидать, абсолютная величина девиации здесь больше, чем при $H=0,047$.

б) Зона H от 0,050 до 0,059 включительно

По мере увеличения H характеристики девиации уменьшались и при $H=0,055$ (график не приложен) было получено:

$$\delta_{\text{ср.}} = 9^{\circ},3 \text{ и } R = 32^{\circ},0 \text{ (} A = -0^{\circ},6 \text{)}.$$

Четыре точки, относящиеся к наблюдениям во льдах, как и в других зонах H , легли далеко в стороне от нормальной кривой.

в) Зона H от 0,060 до 0,069 включительно

Наибольшее число произведенных и использованных наблюдений относится к зоне H от 0,060 до 0,069 (график не приложен). В этой же зоне было сделано 20 наблюдений при форсировании льда и 2 наблюдения во время подрывных работ аммоналом. Все точки легли в этих случаях за пределами осредненной полосы и при этом столь беспорядочно, что обобщить эти наблюдения не представилось возможным. Можно лишь сказать, что девиация во всех случаях была больше, чем при плавании по чистой воде (и по разводьям). В частности, при плавании в шуге (4 точки) все точки легли довольно согласно, причем абсолютная величина девиации была на этих курсах (163—166°), примерно, вдвое больше, чем при плавании по чистой воде.

Для $H=0,065$ получены характеристики:

$$\delta_{\text{ср.}} = 6^{\circ},4 \text{ и } R = 22^{\circ},3 \text{ (} A = -1^{\circ},2 \text{)}.$$

г) Зона H от 0,070 до 0,079 включительно

Для $H=0,075$ получены характеристики:

$$\delta_{\text{ср.}} = 4^{\circ},7 \text{ и } R = 14^{\circ},6 \text{ (} A = 0^{\circ},3 \text{)},$$

т. е. почти те же величины, что и вычисленные для зоны о. Диксона.

д) Зона H от 0,080 до 0,099 включительно

Кривую для $H=0,090$ можно было составить всего по 68 точкам, поэтому и характеристики

$$\delta_{\text{ср.}} = 4^{\circ},1 \text{ и } R = 13^{\circ},4 \text{ (} A = 0^{\circ},0 \text{)}$$

надо считать приближенными.

9. Девиация путевого компаса

При сличениях показаний путевого компаса отсчет записывался со слов рулевого, который запоминал отсчет в момент условного сигнала. Из общего числа 639 наблюдений для построения графиков было использовано 336. Для зоны H от 0,070 до 0,079 имелось 113 точек, которые, по невыясненным причинам, частью легли на несколько градусов в стороне от осредненной кривой. Кривая была признана ненадежной, и наблюдения эти были отброшены так же, как и прочие 190 наблюдений, произведенных при беспокойном поле, при отсутствии данных о вариациях и при форсировании льда (в последнем случае, как и у других компасов, точки легли в стороне от осредненных кривых).

Всего, стало быть, использовано 52% наблюдений, т. е. значительно меньше, чем у прочих компасов. Другим дефектом материалов, касающихся девиации путевого компаса, является отсутствие точных данных о девиации, определенной в Архангельске и на рейде у о. Диксона, так что графики можно было сравнивать лишь между собою. В этом отношении выводы получаются те же, что и для прочих компасов.

Для иллюстрации приложен рис. 7 (для зоны H от 0,060 до 0,069 включительно), из которого видно, что все точки, относящиеся к плаванию по

чистой воде (числом 184), ложатся очень густо и осредненная кривая заслуживает большого доверия. 29 ледовых точек, как и во всех иных случаях, легли в стороне от осредненной кривой; то же самое касается двух наблюдений, произведенных во время подрывных работ аммоналом.

10. Изменения приближенных коэффициентов девиации

В табл. 5 приведены данные о характере изменений, которые происходили в 1937 г. в величинах приближенных коэффициентов девиации, вычисленных на основе приведенных выше материалов.

Наблюдения №№ 5, 7, 12 и 15 были произведены либо в Архангельске (перед началом плавания), либо на рейде у о. Диксона (во время плавания). Их точность была, конечно, выше, чем в остальных случаях, когда диаграмма девиации строилась по результату сличений компасов; можно полагать, что ошибки в вычислении коэффициентов девиации по результатам сличений компасов в среднем составляли около $\pm 1^\circ$ для главного компаса и около $\pm 2^\circ$ для учебного компаса, у которого абсолютные величины девиации в некоторых случаях были больше $7-8^\circ$. Но даже и в этом грубом виде величины коэффициентов девиации обнаруживают явную тенденцию к их увеличению с уменьшением H . Сказанное относится главным образом к коэффициентам полукруговой девиации B и C , в меньшей степени — к коэффициенту симметричной четвертной девиации D (у главного и учебного компасов) и (в пределах точности результатов) вовсе не касается коэффициентов A и E . При этом у главного компаса особенно резко изменялся коэффициент D . По этому поводу, из сопоставления с прочими данными, в настоящее время можно сделать лишь одно замечание предварительного характера.

После уничтожения полукруговой девиации в Архангельске (2 июля 1937 г.) коэффициенты B , C и E оказались равными нулю, тогда как коэффициент D был равен $-1^\circ,0$. Понятно поэтому, что остаточная девиация, определенная 2 июля в Архангельске, имела явный характер четвертной девиации (табл. 1); подобный же характер девиация имела и в течение всего плавания (рис. 4 и 5). У учебного компаса в Архангельске коэффициент D был равен $-0^\circ,3$ (наибольшее значение из числа всех прочих коэффициентов) и, быть может, по этой же причине коэффициент D менялся

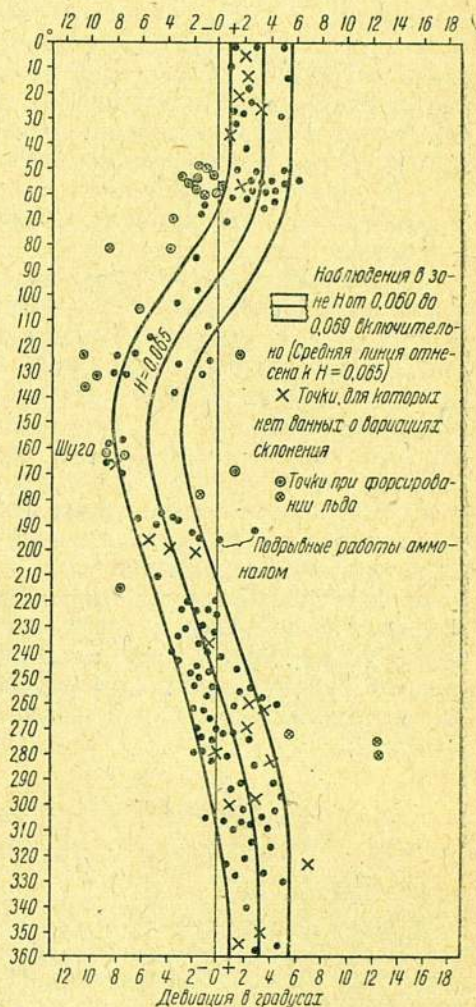


Рис. 7. Девиация путевого компаса в зоне H от 0,060 до 0,069 включительно. Средняя линия отнесена к величине $H = 0,065$.

и в течение плавания, достигнув наибольшего значения ($+3^{\circ},6$) в зоне $H=0,047$ дин; но коэффициент B был значительно больше, поэтому у учебного компаса девиация имела явный характер полукруговой девиации. Факт заметного увеличения коэффициента D (с уменьшением H) сам по себе не является новостью. Так, например, в 1934 г. на л/п „Седов“ наблюдалось то же явление, что и в 1937 г. на л/п „Малыгин“, т. е. коэффициент D в Архангельске достигал величины $-0^{\circ},9$ и остаточная девиация имела характер четвертной девиации; в дальнейшем (у о. Диксона) коэффициент D увеличился до $-3^{\circ},2$ и девиация имела характер искаженной полукруговой девиации [1, стр. 46, 47]. Отсюда видно, что в тех случаях, когда симметричная четвертная девиация была уничтожена недостаточно тщательно, то коэффициент D в течение плавания резко увеличивался с уменьшением H , причем характер девиации становился несколько неправильным.

В вопросе о происхождении девиации весьма показательным является отмеченный уже многими наблюдателями и исследователями (Я. Я. Гаккелем, В. И. Воробьевым и др.) факт постоянства знаков у коэффициента полукруговой девиации B . Коэффициент этот в районе о. Диксона и далее к востоку во всех случаях имел знак минус. Кроме того, известно, что в 1934 и 1937 гг. на „Седове“ и в 1935—1937 гг. на „Малыгине“ у всех компасов, относительно которых имеются данные, коэффициент C имел знак плюс. Здесь нельзя не усматривать явных признаков влияния полупостоянного магнетизма, зарождающегося при сохранении генерального курса на NO при плавании от о. Диксона к проливу Бориса Вилькицкого и генерального курса на NW при плавании к проливу Бориса Вилькицкого с востока. Быть может этой же непостоянной причиной вызывалась наблюдавшаяся в некоторых случаях большая разбросанность точек (при составлении диаграмм девиации), которые при окончательных выводах не учитывались. Более точно ответить на этот вопрос удастся только в том случае, если будут накоплены исчерпывающие материалы, т. е. если сличения компасов будут сопровождаться измерением силы H' .

11. Практическое значение накопленных материалов

Мы видели, что в результате обработки многочисленных материалов, собранных в 1937 г. в экспедиции на л/п „Малыгин“, удалось на опыте подтвердить справедливость двух основных положений, а именно:

- 1) девиация с уменьшением H увеличивается, и
- 2) при форсировании льда абсолютная величина девиации резко увеличивается, причем девиация по большей части имеет неправильный характер и не поддается анализу; можно полагать, что это явление имеет длительный характер, однако резкое изменение девиации происходит только в момент форсирования льда, после чего наблюдается лишь некоторая, если можно так выразиться, „остаточная деформация“ девиации.

Оставляем второй вопрос в стороне, поскольку он не имеет существенного практического значения (выше, п. 7 г, стр. 18) и рассмотрим основной вывод, касающийся связи между девиацией и силой H .

Из сопоставления всех имеющихся материалов видно, что в данной зоне H абсолютная величина девиации и характер девиации неодинаковы не только на различных судах („Седов“, „Малыгин“), но и на одном и том же судне, но в разные годы плавания. Кроме того, на одном и том же судне девиация неодинакова у различных компасов, что объясняется, конечно, различным положением компасной стрелки относительно судо-

вого железа. Так, например, в 1937 г. на л/п „Малыгин“ в зоне $H = 0,055$ динь амплитуда девиации у главного компаса составляла $15^{\circ},7$, а у учебного компаса достигала $32^{\circ},0$, так как близость этого компаса к вентиляторным трубам и к дымовой трубе вызвала резкое изменение коэффициента B , чего не наблюдалось в таких размерах у главного компаса, установленного на 5 м дальше от этих источников проявления силы cZ . Итак, несмотря на то, что во всех случаях остаточная девиация (в Архангельске) была близка к нулю, в плавании, и особенно в зоне $H < 0,070$ динь, абсолютная величина девиации на каждом судне и у каждого компаса в отдельности была неодинакова и колебалась в таких пределах, которые на первый взгляд не могли быть заранее предусмотрены и учтены при ведении счисления. Так именно и обстоит дело до тех пор, пока речь идет об абсолютной величине девиации; если же учесть относительные величины изменения средней девиации, то картина получается иная.

На рис. 8 изображена зависимость между характеристиками изменения девиации μ_D и ρ_D — с одной стороны и горизонтальной составляющей H — с другой. Осредненная кривая зависимости, построенная по 20 точкам, имеет явно гиперболический характер, и если ее экстраполировать для значений $H < 0,040$ динь, то она будет асимптотически приближаться к вертикальной оси, так как при $H = 0$ характеристики μ_D и ρ_D должны достигнуть столь большой величины, что практически можно принять

$$\mu_D (\max) = \infty \text{ и } \rho_D (\max) = \infty.$$

Для проведения кривой зависимости $\mu_D = f(H)$ использованы данные, относящиеся как к главному, так и к учебному компасу (табл. 6). Как мы видели, характер девиации у обоих этих компасов был совершенно различен: у главного компаса девиация имела явный характер четвертной девиации, а у учебного — явный характер полукруговой девиации; при этом абсолютные величины девиации и средние девиации ($\delta_{\text{ср.}}$) различались у этих компасов более чем в два раза. Тем не менее, характеристики μ_D и ρ_D у обоих компасов были почти одинаковы. Для путевого компаса имеются данные лишь для трех зон H , а для Архангельска и о. Диксона приближенно (по имеющимся сейчас неполным данным) значения $\delta_{\text{ср.}}$ были соответственно $0,7$ и $2^{\circ},5$. Если использовать последнюю величину для вычисления μ_D , то окажется, что в 1937 г. на л/п „Малыгин“ все три компаса обладали одинаковыми характеристиками изменения девиации (μ_D).

Однородность характеристик μ_D и ρ_D как по происхождению, так и по относительной их величине и позволяет объединить обе величины для построения общей кривой зависимости этих характеристик от силы H . Разбросанность всех точек (кроме относящихся к наблюдениям у о. Диксона, о чем сказано далее) объясняется, очевидно, ошибками в выводах обоих характеристик на основе исходных данных ($\delta_{\text{ср.}}$ и R), определенных в среднем с точностью до 1° .

Отсюда можно сделать предварительный вывод о пригодности характеристик μ_D и ρ_D для приближенного построения диаграммы девиации для любой зоны H в пределах от $H = 0,070$ (рейд у о. Диксона) до $H = 0,40$ (район к SO от пролива Бориса Вилькицкого). Для этого достаточно, следовательно, определить девиацию на 8 компасных курсах на рейде у о. Диксона (выбрав спокойный в магнитном отношении день), вычислить девиацию и, построив по ней диаграмму Непира, способом постепенного

приближения построить ту же диаграмму для данного значения H . Полученные при этом характеристики μ_D и ρ_D по величине должны соответствовать характеристикам, снятым с рис. 8, а общий характер девиации должен соответствовать характеру девиации данного компаса на рейде у о. Диксона. Именно последнее обстоятельство, т. е. необходимость иметь для контроля данные о характере девиации не в исходном пункте (в Архангельске или Мурманске), а где-либо в промежуточном пункте плавания, и побуждает вычислять характеристики μ и ρ по отношению к величинам $\delta_{\text{ср.}}$ и R , определенным на рейде у о. Диксона. В исходном пункте (в Архангельске или в Мурманске) девиация, если можно так выразиться, еще „не успевает себя проявить“ (табл. 1 и 3), особенно в сложных случаях, как это было, например, в 1937 г. на л/п „Малыгин“, когда девиация главного компаса имела характер четвертной девиации. Диаграмма же девиации, определенной на рейде у о. Диксона, позволяет уже судить и об общем характере девиации (когда коэффициенты B и C стали >0) и о всех деталях диаграммы, которые необходимы для более верного составления „прогноза девиации“.

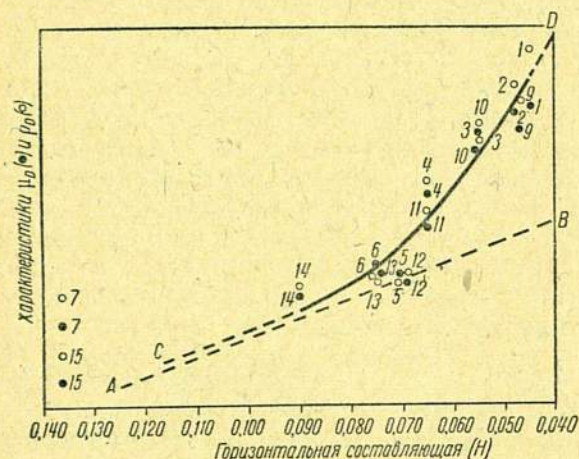


Рис. 8. Характеристики изменений девиации в зависимости от величины H .

в отдельности замечается планомерное увеличение этих характеристик с уменьшением H , но у каждого компаса эта зависимость выражается особой кривой, исключающей возможность полноценных сопоставлений и „прогнозов девиации“.

Ошибки в определении характеристик μ_D и ρ_D по кривой, изображенной на рис. 8, могут составлять в среднем около 5% при крайних отклонениях до 15%. Другими словами, в зоне наибольшей девиации (в районе к SO от пролива Бориса Вилькицкого) ошибки в определении девиации на некоторых курсах могут достигать 2–3°.

Все сказанное справедливо лишь по отношению к девиации на л/п „Малыгин“ и предстоит еще доказать на опыте, что кривая зависимости, показанная на рис. 8, сохраняет силу и для любого иного судна. В данный момент утверждать это с уверенностью нельзя, так как в такой сравнительно полной форме, как это было сделано в 1937 г. на л/п „Малыгин“, никто ни на одном судне до сих пор подобных наблюдений не производил, поэтому никаких данных для вычисления характеристик μ_D и ρ_D в зонах $H < 0,070$ для других судов в настоящее время не имеется. Правда, в 1937 г. в экспедиции на л/п „Седов“ было произведено около 500 сличений компасов (главного магнитного и гирокомпаса), причем удалось вычислить девиацию для зоны $H < 0,050$ дин (в зоне Новосибирских островов). Как и на „Малыгине“, средняя девиация $\delta_{\text{ср.}}$ составляла здесь около 5°, а амплитуда R была около 16°. К сожалению, не имеется дан-

ных о величине девиации в Архангельске, а при заходе л/п „Седов“ на рейд у о. Диксона (конец июля 1937 г.) девиация не определялась.

Из рис. 8 видно, что точки 5 и 12, относящиеся к наблюдениям у о. Диксона (и принятые за единицу), лежат ниже осредненной кривой. По этому поводу можно высказать следующее соображение.

Если в соответствии с теорией девиации допустить, что абсолютная величина полукруговой девиации возрастает пропорционально силе cZ и обратно пропорционально величине H , причем четвертная девиация не меняется (как это происходит при нормальных условиях с силами, производящими девиацию), то зависимости $\rho_D = f(H)$ и $\rho_D = f_1(H)$ должны выразиться в виде прямой AB (рис. 8). Практически все точки кривой CD лежат выше прямой AB . Остается допустить, что при определении девиации на рейде у о. Диксона после плавания преимущественно по чистой воде и по разводьям не сказалось влияния „остаточной деформации“ (некоторое остаточное увеличение девиации после форсирования льда), и, кроме того, здесь еще не слишком возросли коэффициенты D и E , а также не имело места явление полупостоянного магнетизма, т. е. не изменились силы P , Q и R . Под совокупным влиянием всех этих причин (форсирование льда, увеличение четвертной девиации и полупостоянный магнетизм) при дальнейшем плавании и произошло отклонение кривой CD от прямой AB . Последние две причины (увеличение коэффициентов D и E и явление полупостоянного магнетизма), вероятно, не имели преимущественного значения, поэтому и зависимость, выраженная кривой CD , по всей вероятности и должна быть однородной для всех судов, совершающих плавание по трассе Северного морского пути.

12. Выводы

1. Наблюдения, произведенные в 1937 г. в экспедиции на л/п „Малыгин“, в целом отличаются вполне удовлетворительным качеством и достаточной (хоть и не исчерпывающей) полнотой. Примененные затем методы тщательной обработки позволили сделать ряд выводов, которые по существу вопроса не являются окончательными и в значительной мере выливаются в форме более или менее обоснованных предположений; но они полезны в отношении установления методики подобных наблюдений.

2. Абсолютная величина девиации возрастает с уменьшением H и с увеличением Z . Коэффициенты B и C обычно имеют при этом постоянные знаки (соответственно минус и плюс). Коэффициент D может заметно увеличиться, если при уничтожении четвертной девиации он не был доведен до величины, близкой к нулю.

3. Для практических целей, а также для последующих теоретических исследований, касающихся вопроса о происхождении девиации, полезны характеристики девиации $\delta_{\text{ср.}}$ и R , а также характеристики изменений девиации. Возможно, что характер изменений девиации на любом судне, совершающем переход по трассе Северного морского пути, выражается в форме кривой, изображенной на рис. 8.

4. При дальнейших исследованиях необходимо на каждом гидрографическом судне, имеющем гирокомпас, производить систематические сличения компасов в каждой зоне H (хотя бы через 100 γ на 8 компасных курсах с записью моментов с точностью до 1 минуты (для последующего учета вариацией склонения) и с одновременным изменением дефлектором силы H' . Дефлектор требует некоторого переоборудования. Если обстоятельства позволяют, то полезно производить сличения компасов (в данной

точке) не на 8, а на 16 компасных курсах. Далее, необходимо ускорить решение вопроса о применении флиндерсбара.

5. Вопрос о происхождении девиаций, вернее об относительном влиянии каждой причины, вызывающей девиацию (изменение H и Z , полупостоянный магнетизм, форсирование льда, изменение четвертной девиации), в настоящее время остается открытым.

ЛИТЕРАТУРА

(Номер источника в тексте заключен в прямые скобки)

1. „Труды Аркт. инст.“, т. 83, Л., 1937.
2. Работы экспедиции в северо-восточной части Карского моря на л/п „Малыгин“ в 1935 г. (Фонды Гидрографического управления Главсевморпути).
3. „Проблемы Арктики“, 1937 г., № 3.

Приложение

Таблица 1

Девиация главного компаса л/п „Малыгин“ 2 июля 1937 г., Архангельск

к. к.	δ	к. к.	δ
0°	0°0	180°	0°0
15	0 0	195	-0 4
30	0 0	210	-0 7
45	0 0	225	-1 0
60	0 0	240	-0 7
75	0 0	255	-0 4
90	0 0	270	0 0
105	+0 7	285	+0 7
120	+1 2	300	+1 2
135	+1 5	315	+1 5
150	+1 2	330	+1 2
165	+0 7	345	+0 7

Таблица 2

Девиация главного компаса л/п „Малыгин“ 29 июля 1937 г., на рейде у о. Диксона

к. к.	δ	к. к.	δ
0°	-0°4	180°	+1°3
15	-2 0	195	-0 1
30	-3 4	210	-1 3
45	-4 0	225	-1 9
60	-3 5	240	-1 8
75	-2 6	255	-1 0
90	-1 0	270	+0 3
105	+0 8	285	+1 6
120	+2 3	300	+2 6
135	+3 2	315	+2 9
150	+3 3	330	+2 4
165	+2 6	345	+1 3

Таблица 3

Девиация учебного компаса л/п „Малыгин“ 2 июля 1937 г., Архангельск

к. к.	δ	к. к.	δ
0°	0°0	180°	-0°5
15	0 0	195	-0 8
30	0 0	210	-1 1
45	0 0	225	-1 5
60	0 0	240	-1 0
75	0 0	255	-0 5
90	0 0	270	0 0
105	-0 2	285	+0 5
120	-0 4	300	+1 1
135	-0 5	315	+1 5
150	-0 5	330	-1 0
165	-0 5	345	+0 5

Таблица 4

Девиация учебного компаса л/п „Малыгин“ 29 июля 1937 г., на рейде у о. Диксона

к. к.	δ	к. к.	δ
0°	-0°9	180°	+0°3
15	-2 8	195	+2 2
30	-4 5	210	+3 9
45	-5 8	225	+5 5
60	-6 7	240	+6 7
75	-7 1	255	+7 5
90	-7 1	270	+7 7
105	-6 6	285	+7 4
120	-5 8	300	+6 5
135	-4 6	315	+5 0
150	-3 1	330	+3 2
165	-1 5	345	+1 2

Таблица 5

Приближенные коэффициенты девиации л/п „Малыгин“ 1937 г.

№№ п/п	H	A	B	C	D	E	Номер рис.	Примечания
Главный компас								
1	0,045	-0,4	-4,8	+2,3	-6,0	-0,4	3	По результатам сличений
2	0,048	-0 4	-5 3	+0 5	-5 0	-1 1		То же
3	0,055	-1 0	-3 8	+1 8	-5 2	-1 6		"
4	0,065	-0 8	-2 8	+1 3	-4 2	-0 6	4	"
5	0,070	+0 1	-0 6	-0 8	-3 0	+0 4		У о. Диксона, определение δ
6	0,075	-1 2	-0 5	+1 5	-3 4	+0 7		По результату сличений
7	0,136	+0 2	0 0	0 0	-1 0	0 0		Архангельск, определение δ
8	0,065	-0 7	-8 8	+5 4	-5 8	-1 2	5	По результату сличений при форсировании льда
Учебный компас								
9	0,047	+1,0	-15,4	+3,2	+3,6	-1,2	6	По результату сличений
10	0,055	-0 6	-14 6	+2 3	+2 1	-0 2		То же
11	0,065	-1 35	-10 5	+1 4	+1 2	-0 1		"
12	0,070	0 0	-7 4	-0 6	-0 2	-0 3		У о. Диксона, определение δ
13	0,075	-0 3	-7 2	+1 4	+0 2	-0 2		По результату сличений
14	0,090	+0 1	-6 2	+1 4	+1 0	-0 6		То же
15	0,136	-0 1	0 0	+0 2	-0 3	-0 1		Архангельск, определение δ
Путевой компас								
16	0,047	+0,4	-3,0	+9,8	-0,3	+1,2		По результату сличений
17	0,055	-0 8	-3 6	+4 2	+0 1	+0 6		То же
18	0,065	-1 0	-0 7	+4 3	+0 8	-0 6	7	"

Таблица 6

Характеристики девиации и характеристики изменений девиации на л/п „Малыгин“, 1937

№№ точек на рис. 24	H	$\delta_{\text{ср.}}$	$\mu_D \delta_{\text{ср.}} / \delta_{\text{ср.}}$ (Диксон)	$\mu_A \delta_{\text{ср.}} / \delta_{\text{ср.}}$ (Архангельск)	R	$\rho_D R/R$ (Диксон)	$\rho_A R/R$ (Архангельск)
Главный компас							
1	0,045	4,7	2,35	8,1	20,4	2,79	6,8
2	0,048	4,6	2,30	7,9	18,3	2,51	6,1
3	0,055	4,3	2,15	7,4	15,7	2,15	5,2
4	0,065	3,3	1,65	5,7	12,8	1,75	4,3
5	0,070	2,0	1,0	3,3	7,3	1,0	2,4
6	0,075	2,2	1,1	3,8	7,6	1,0	2,5
7	0,136	0,6	0,3	1,0	3,0	0,41	1,0
8	0,065	7,1	3,55	12,2	25,7	3,52	8,6 (во льдах)
Учебный компас							
9	0,047	10,2	2,17	23,2	34,9	2,4	11,6
10	0,055	9,3	2,0	21,1	32,0	2,2	10,7
11	0,065	6,4	1,4	14,5	22,3	1,5	7,4
12	0,070	4,7	1,0	11,8	14,8	1,0	4,9
13	0,075	4,7	1,0	10,7	14,5	0,98	4,8
14	0,090	4,1	0,87	9,3	13,4	0,90	4,5
15	0,136	0,44	0,09	1,0	3,0	0,20	1,0
16	0,047	6,4			20,9		
17	0,055	4,8			16,4		
18	0,065	2,8			8,9		

Таблица 7

Девяцна магнитных 5" компасов л/п „Малыгин“ в 1937 г.
(По результатам обработки сличений компасов)

Главный компас

Компасный курс	Зона горизонтальной составляющей (H)						
	0,045	0,048 5-минутные наблюдения	0,055 (с учетом 5-минутных наблюдений)	0,055 5-минутные наблюдения	0,065	0,075	0,065 5-минутные наблюдения во льдах
0°	+ 0°2	— 0°7	— 0°5	0°0	+ 0°4	+ 1°0	+ 2°0
10	— 1 6	— 2 8	— 2 4	— 2 1	— 1 4	— 0 4	— 1 4
20	— 3 4	— 5 1	— 4 4	— 4 0	— 3 3	— 1 6	— 4 0
30	— 5 0	— 7 4	— 6 0	— 5 6	— 4 9	— 2 7	— 7 0
40	— 6 6	— 9 0	— 7 3	— 7 0	— 6 0	— 3 6	— 9 6
50	— 7 6	— 9 4	— 7 8	— 7 4	— 6 2	— 4 0	— 10 9
60	— 7 6	— 8 7	— 7 8	— 7 3	— 6 0	— 4 0	— 11 0
70	— 6 9	— 7 6	— 7 0	— 6 2	— 5 4	— 3 8	— 10 8
80	— 6 0	— 6 3	— 5 8	— 4 7	— 4 6	— 3 2	— 9 8
90	— 5 0	— 5 2	— 4 0	— 2 8	— 3 2	— 2 5	— 8 6
100	— 3 8	— 3 5	— 2 2	— 0 9	— 1 8	— 1 7	— 6 0
110	— 2 6	— 2 1	— 0 4	+ 1 0	— 0 5	— 0 6	— 4 0
120	— 1 3	— 0 8	+ 1 0	+ 2 0	+ 0 7	+ 0 4	— 2 5
130	— 0 0	+ 0 4	+ 1 6	+ 2 2	+ 1 2	+ 0 9	— 2 4
140	+ 0 8	+ 1 3	+ 1 3	+ 1 7	+ 0 9	+ 0 8	— 3 3
150	+ 0 8	+ 1 3	+ 0 1	+ 0 7	0 0	+ 0 3	— 5 1
160	— 0 1	+ 0 3	— 2 0	—	— 1 1	— 0 3	— 7 0
170	— 1 5	— 1 3	— 4 2	—	— 2 3	— 1 1	— 8 0
180	— 2 7	— 2 8	— 6 0	—	— 3 3	— 2 0	— 7 8
190	— 3 7	— 4 2	— 7 0	—	— 4 1	— 2 8	— 6 8
200	— 4 5	— 4 8	— 6 8	—	— 4 4	— 3 3	— 5 2
210	— 5 0	— 4 4	— 6 0	—	— 4 4	— 3 8	— 3 8
220	— 5 0	— 3 2	— 4 6	—	— 4 0	— 4 0	— 2 0
230	— 4 3	— 1 3	— 2 9	—	— 3 2	— 3 6	— 0 2
240	— 2 9	+ 0 9	— 1 2	—	— 1 8	— 3 1	+ 1 6
250	— 1 1	+ 2 9	+ 0 4	—	— 0 4	— 2 2	+ 3 3
260	+ 1 3	+ 5 0	+ 2 2	—	+ 1 2	— 1 2	+ 5 4
270	+ 4 4	+ 6 8	+ 3 8	—	+ 3 0	0 0	+ 7 8
280	+ 7 8	+ 8 1	+ 5 2	—	+ 4 8	+ 1 0	+ 9 9
290	+ 11 0	+ 8 8	+ 6 5	—	+ 6 0	+ 2 1	+ 11 8
300	+ 12 8	+ 8 9	+ 7 4	—	+ 6 6	+ 3 1	+ 13 0
310	+ 12 2	+ 8 4	+ 7 9	—	+ 6 4	+ 3 7	+ 14 3
320	+ 10 7	+ 7 7	+ 7 8	—	+ 5 7	+ 3 8	+ 14 7
330	+ 8 6	+ 6 4	+ 6 9	—	+ 4 6	+ 3 4	+ 14 0
340	+ 5 9	+ 4 8	+ 5 4	—	+ 3 4	+ 2 9	+ 12 4
350	+ 2 9	+ 2 6	+ 3 0	—	+ 2 0	+ 2 0	+ 8 4

Таблица 7а

Девияция магнитных 5" компасов л/п „Малыгин“ в 1937 г.

(По результатам обработки сличений компасов)

Учебный (студенческий) компас

Компас- ный курс	Зона горизонтальной составляющей (H)				
	0,047	0,055	0,065	0,075	0,085
0°	+ 3,1	+ 1,8	+ 0,3	+ 0,4	+ 0,9
10	+ 1 4	— 0 0	— 1 1	— 0 7	— 0 0
20	— 0 3	— 2 1	— 2 7	— 1 6	— 0 7
30	— 2 0	— 4 2	— 4 2	— 2 5	— 1 3
40	— 3 8	— 6 1	— 5 6	— 3 5	— 2 0
50	— 5 6	— 8 1	— 7 2	— 4 5	— 2 7
60	— 7 3	— 10 0	— 8 7	— 5 4	— 3 6
70	— 9 4	— 12 0	— 10 0	— 6 3	— 4 2
80	— 11 0	— 13 8	— 11 3	— 7 0	— 4 9
90	— 12 9	— 15 3	— 12 1	— 7 4	— 5 5
100	— 14 3	— 16 2	— 12 6	— 7 6	— 6 0
110	— 15 8	— 16 8	— 12 4	— 7 6	— 6 3
120	— 16 6	— 16 2	— 11 6	— 7 4	— 6 5
130	— 16 7	— 15 1	— 10 2	— 7 1	— 6 6
140	— 15 7	— 13 4	— 8 7	— 6 6	— 6 4
150	— 13 8	— 11 2	— 7 1	— 5 6	— 5 8
160	— 11 2	— 8 6	— 5 5	— 4 6	— 5 0
170	— 7 2	— 6 0	— 3 9	— 3 2	— 3 8
180	— 3 2	— 3 2	— 2 2	— 1 8	— 2 3
190	+ 1 0	— 0 3	— 0 4	— 0 5	— 0 5
200	+ 4 8	+ 2 6	+ 1 0	+ 0 9	+ 1 2
210	+ 8 1	+ 5 7	+ 2 9	+ 2 1	+ 3 0
220	+ 11 0	+ 8 6	+ 4 4	+ 3 5	+ 4 4
230	+ 14 2	+ 11 0	+ 6 2	+ 4 7	+ 5 4
240	+ 16 5	+ 13 7	+ 7 8	+ 5 5	+ 6 1
250	+ 17 9	+ 15 0	+ 9 0	+ 6 2	+ 6 7
260	+ 18 1	+ 15 2	+ 9 6	+ 6 7	+ 6 8
270	+ 17 5	+ 14 6	+ 9 7	+ 7 0	+ 6 7
280	+ 16 2	+ 13 7	+ 9 3	+ 7 0	+ 6 4
290	+ 14 7	+ 12 4	+ 8 4	+ 6 8	+ 5 9
300	+ 13 1	+ 10 9	+ 7 3	+ 6 5	+ 5 2
310	+ 11 6	+ 9 5	+ 6 2	+ 6 2	+ 4 5
320	+ 10 0	+ 8 1	+ 5 0	+ 5 5	+ 3 8
330	+ 8 2	+ 6 6	+ 3 8	+ 4 5	+ 3 1
340	+ 6 4	+ 4 9	+ 2 6	+ 3 3	+ 2 3
350	+ 4 8	+ 3 4	+ 1 3	+ 2 0	+ 1 7



Девияция магнитных 5" компасов л/п „Малыгин“ в 1937 г.

(По результатам обработки сличений компасов)

Путевой компас

Компас- ный курс	Зона Н			Компас- ный курс	Зона Н		
	0,047	0,055	0,065		0,047	0,055	0,065
0°	+12°0	+8°2	+2°4	180°	-8°4	-8°2	-5°7
10	+10 3	+7 7	+2 6	190	-8 0	-7 8	-5 1
20	+8 6	+6 7	+2 6	200	-7 6	-7 3	-4 4
30	+7 0	+5 6	+2 6	210	-6 3	-6 7	-3 7
40	+5 2	+4 5	+2 6	220	-5 2	-6 0	-3 0
50	+3 4	+3 3	+2 5	230	-3 9	-5 1	-2 3
60	+1 7	+2 1	+2 0	240	-2 5	-4 1	-1 7
70	0 0	+0 9	+1 6	250	-0 9	-3 1	-1 1
80	-1 8	-0 3	+0 6	260	+0 6	-2 0	-0 5
90	-3 3	-1 5	-0 7	270	+2 2	-1 0	-0 0
100	-4 7	-2 7	-2 1	280	+3 8	+0 2	+0 5
110	-6 0	-3 8	-3 4	290	+5 3	+1 2	+1 0
120	-7 0	-5 0	-4 7	300	+7 0	+2 3	+1 3
130	-7 8	-5 8	-5 5	310	+8 4	+3 7	+1 9
140	-8 2	-6 6	-6 0	320	+10 0	+4 7	+2 2
150	-8 6	-7 3	-6 3	330	+11 4	+6 0	+2 4
160	-8 7	-7 8	-6 2	340	+12 2	+7 2	+2 5
170	-8 6	-8 2	-6 0	350	+12 2	+8 0	+2 5

Е. Я. ЩЕГОЛЕВ

О ПРИМЕНЕНИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ РАДИОДАЛЬНОМЕРОВ
НА КОРАБЛЕ, НАХОДЯЩЕМСЯ В ДВИЖЕНИИ

Интерференционные радиодальномеры, теории и описанию которых посвящен уже ряд статей, в том числе и в настоящем сборнике,¹ первоначально предназначались для измерения расстояний между неподвижными пунктами, т. е., в практике гидрографии, между береговыми опорными пунктами и кораблем, стоящим на якоре.

Необходимость остановки судна, а тем более постановки его на якорь, представляет собой при гидрографических работах значительное практическое неудобство и совершенно недопустима при навигационных определениях.

Развитие методики измерения расстояний радиодальномерами на движущемся судне, очевидно, значительно расширяет область применения этих аппаратов и еще больше повышает практическую ценность радиointерференционного метода координации.

¹ Е. Я. Щеголев. О применении радиоволн для измерения расстояний над морской поверхностью, „Северный морской путь“, № 10, стр. 5.

С. А. Мещеряков и Д. Н. Преображенский, Интерференционный радиодальномер „МПШ-6“, „Северный морской путь“, № 14, стр. 54.

Уже в 1936 г. во время плавания в Карских Воротах В. В. Мигулиным и И. М. Борушко были сделаны первые попытки измерений на ходу судна.

В следующем году в Белом море были проведены более систематические опыты, давшие возможность, несмотря на их предварительный характер, разработать специальную методику наблюдений и обработки результатов таковых.

1. Теоретические соображения

Колебания, излучаемые судовой станцией, могут быть представлены в виде

$$a = A \sin \omega t;$$

те же колебания, прошедшие путь между станциями в прямом и обратном направлении, — в виде

$$b = B \sin \left(\omega t + \delta' + \delta'' + \rho + \frac{2\omega}{v} R \right),$$

где δ' , δ'' и ρ суть сдвиги фаз в различных частях аппаратуры задающей (судовой) и отражающей станций и $\frac{2\omega R}{v}$ есть запаздывание фазы на пути между станциями (так называемый „полный фазовый угол“).

Первые слагаемые фазового угла не представляют в настоящий момент интереса, так как они, не завися от искомого расстояния R , определяются исключительно свойствами аппаратуры и могут быть измерены и учтены, либо вовсе исключены из окончательных формул.

Полный фазовый угол Φ , получаемый колебаниями на пути между станциями (в обоих направлениях), как было сказано, равен

$$\Phi = \frac{2\omega}{v} R.$$

В случае одновременного изменения частоты излучаемых колебаний ω и расстояния между станциями R производная по времени от этого выражения равна

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{2}{v} R \frac{d\omega}{dt} + \frac{2}{v} \omega \frac{dR}{dt}.$$

Первый член правой части определяет изменение полного фазового угла в зависимости от изменения частоты, второй — от расстояния.

Приращение полного фазового угла за определенный промежуток времени $t''t'$,

$$\Delta\Phi = \frac{2}{v} \left(R \int_{t'}^{t''} \frac{d\omega}{dt} dt + \omega \int_{t'}^{t''} \frac{dR}{dt} dt \right).$$

Закон изменения ω неизвестен, но постановка опыта такова, что граничные значения частоты известны, так как задаются эталонными генераторами, стабилизированными пьезокварцами.

Наибольшая частота — $\omega_a = 2\pi f_a$.

Наименьшая частота — $\omega_x = 2\pi f_x$.

Величина $\frac{dR}{dt}$ есть скорость движения судна по отношению к опорной точке. Отношение изменения расстояния ΔR ко времени $t'' - t'$ есть сред-

няя скорость судна по отношению к опорной точке за время измерения (рис. 1)

$$\frac{\Delta R}{t_{II} - t_I} S.$$

В момент начала измерения на частоте f_x

$$\Phi_{I,x} = \frac{2\omega_x}{v} R_I = \frac{4\pi f_x}{v} R_I = Z\pi + \varphi_{I,x}.$$

К моменту окончания перехода на другую, более высокую граничную частоту f_a имеем:

$$\Phi_{II,a} = \frac{2\omega_a}{v} R_{II} = (Z+h)\pi + \varphi_{II,a} = \frac{4\pi f_a}{v} [R_I + S(t_{II} - t_I)].$$

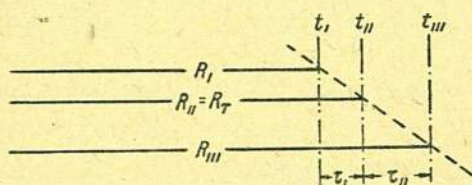


Рис. 1.

Знак приращения расстояния и фазового угла зависит от направления движения корабля и от знака изменения частоты; здесь знаки соответствуют увеличению частоты и расстояния.

$$\Phi_{II,a} = \frac{4\pi f_a}{v} R_I + \frac{4\pi f_a}{v} S(t_{II} - t_I).$$

Обозначим

$$\frac{4\pi f_a}{v} S = \Phi.$$

Φ — средняя скорость изменения полного фазового угла при перемещении судна при условии постоянства частоты f . Величину Φ мы назовем „скоростью по фазе“.

Можем написать

$$\Phi_{II,a} = \frac{4\pi f_a}{v} R_I + \Phi(t_{II} - t_I);$$

$$\Phi_{II,a} - \Phi(t_{II} - t_I) = \frac{4\pi f_a}{v} R_I.$$

Ранее мы имели

$$\Phi_{I,x} = \frac{4\pi f_x}{v} R_I.$$

Разность

$$\Phi_{II,a} - \Phi_{I,x} - \Phi(t_{II} - t_I) = \frac{4\pi R_I}{v} (f_a - f_x),$$

откуда

$$R_I = \frac{v}{4\pi \Delta f} [\Delta \varphi_I - \Phi(t_{II} - t_I)].$$

Здесь $\Delta \varphi_I$ — наблюдавшееся при опыте изменение полного фазового угла

$$\Delta \varphi_I = \Phi_{II,a} - \Phi_{I,x}.$$

Необходимая для вычисления R_I величина скорости по фазе Φ может быть определена экспериментально. Однако это определение может быть

выполнено сравнительно просто и с достаточной точностью только в случае, когда скорость изменения проекции курса корабля на радиус-вектор R остается постоянной.

$$S = \text{const.}$$

Этот случай имеет место при равномерном ходе корабля по прямому курсу на достаточно большом расстоянии от отражающей станции. В других случаях определение Φ может быть выполнено только весьма приближенно.

Если, при условии сохранения неизменной скорости S , провести повторные измерения с обратным изменением частоты излучения, то величина Φ может быть исключена из полученной в таком случае системы уравнений.

Практикой был выработан следующий порядок наблюдений. Измерение начинается с частоты f_x в момент t , когда фигура Лиссажу на экране осциллографа, меняющаяся вследствие движения корабля, примет форму „гаммы“. По настройке аппаратов на частоту f_a отмечается момент появления ближайшей „гаммы“ $t_{\text{об}}$. Этот момент является концом прямого и началом обратного перехода от f_a к f_x . Конец обратного перехода определяется также появлением „гаммы“ на частоте f_x .

В результате измерений получают:

$\Delta\varphi$ — разность полных фазовых углов при переходе от f_x к f_a (в полуциклах, в целых „гаммах“);

$\tau = t_{\text{об}} - t$ — продолжительность этого перехода;

$\Delta\varphi_{\text{об}}$ — разность полных фазовых углов при обратном переходе от f_a к f_x ;

$\tau_{\text{об}} = t_{\text{пр}} - t_{\text{об}}$ — продолжительность обратного перехода.

Обозначим через $\Delta\varphi$ разность фазовых углов, которая наблюдалась бы при неизменности положения корабля на расстоянии $R_{\text{об}}$, соответствующем моменту окончания прямого и начала обратного переходов. Этот момент обозначим через

$$T (T = t_{\text{пр}}, R_T = R_{\text{об}}).$$

При полной неподвижности корабля на расстоянии R_T угол Φ_{Tx} отличался бы от наблюдавшихся в начале и в конце реального опыта на величину, зависящую от продолжительности перехода между граничными частотами и от скорости перемещения судна,

$$\Phi_{Tx} - \Phi_{\text{пр}} = \frac{4\pi f_x}{v} S \tau = \Phi_{\text{пр}} \tau,$$

поэтому

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{\text{пр}} - \Phi_{\text{пр}} \tau. \quad (\text{A})$$

Для обратного перехода подобно этому:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{об}} - \Phi_{Tx} &= \Phi_{\text{об}} \tau_{\text{об}}; \\ \Delta\varphi &= \Delta\varphi_{\text{об}} + \Phi_{\text{об}} \tau_{\text{об}}. \end{aligned} \quad (\text{B})$$

В предположении, что скорость судна во время измерения не менялась, т. е. что

$$S = \text{const}$$

и

$$\Phi_{\text{пр}} \Phi_{\text{об}} = \Phi_x,$$

исключаем Φ_x из уравнений (A) и (B):

$$\Phi_x = \frac{\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_{II}}{\tau_{II}},$$

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 - \frac{\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_{II}}{\tau_{II}} \tau_1,$$

откуда расстояние между станциями в момент T :

$$R_T = K \frac{\Delta\varphi_1 \tau_{II} + \Delta\varphi_{II} \tau_1}{\tau_{II} + \tau_1} K \Delta\varphi, \quad (C)$$

где K — коэффициент дальномера

$$K = \frac{v}{4\pi\Delta f}.$$

Применение здесь описанной методики имеет ряд преимуществ перед „классической“ методикой, разработанной для измерений между неподвижными пунктами. Основными преимуществами следует считать:

- а) упрощение счета изменения фазовых углов, сведенного к определению целого числа полуциклов изменений фазы (числа „гамм“), и
- б) замену отсчетов конечных фазовых углов простым отсчетом времени по секундомеру.

2. Некоторые практически важные следствия теории S

При определении положения корабля во время хода могут встретиться два различных случая:

- а) судно удаляется от береговой станции и
- б) судно приближается к береговой станции.

Измерения в частном случае, когда корабль идет точно по дуге с центром, совпадающим с местоположением береговой опорной станции ($R = \text{const}$), ничем не будут отличаться от измерений, проводимых с неподвижного корабля.

Рассмотрим первый случай — расстояние между станциями возрастает. Предположим, что происходит переход от частоты f_x к частоте f_z , т. е. частота увеличивается. Обе причины изменения Φ — изменение R и изменение f — действуют согласно и вызывают увеличение полного фазового угла. Вследствие этого наблюдателем будет зарегистрировано большее изменение фазового угла, чем то, которое соответствует действительному расстоянию между станциями в момент T .

При обратном переходе от более высокой частоты к более низкой фазовый угол уменьшается на величину, соответствующую расстоянию и разности частот. Вследствие движения корабля (расстояние возрастает) имеется также тенденция к увеличению фазового угла. В результате измеренное изменение полного фазового угла будет меньше соответствующего расстоянию.

Второй случай — корабль приближается к базе. При переходе от f_x к f_z фазовый угол возрастает, но одновременно он должен уменьшаться из-за уменьшения расстояния. Обе причины действуют противоположно, и в результате разность фазовых углов получается меньше нормальной.

Во время перехода от f_x к f_z полный фазовый угол уменьшается. Одновременно он уменьшается и вследствие сокращения расстояния между станциями. В результате регистрируется большая разность фазовых углов, чем это соответствует расстоянию.

Сказанное выше сведено в табл. 1, пользуясь которой легко во время самого процесса измерения определить направление движения судна по отношению к опорному пункту.

Таблица 1

Полученная разность фазовых углов		Направление движения корабля
Переход $f_a \rightarrow f_x$	Переход $f_a \rightarrow f_x$	
Больше Меньше	Меньше Больше	Корабль приближается Корабль удаляется

Путем изменения частоты излучаемых колебаний представляется возможным поддерживать угол Φ постоянным. Для этого необходимо, чтобы в формуле

$$\Phi = \frac{4\pi}{v} (f \cdot R)$$

множитель, заключенный в скобки, оставался постоянным. Таким образом, для поддержания постоянства полного фазового угла при увеличении расстояния надлежит уменьшать частоту или, что то же, увеличивать длину волны; при уменьшении расстояния надо поступать обратно — уменьшать длину волны, стремясь сохранить в обоих случаях неизменным число волн, укладываемых на расстоянии между обеими станциями.

Из сказанного вытекает простое правило: если для сохранения вида фигуры Лиссажу на экране осциллографа аппарат надо перестраивать к частоте f_a , значит судно приближается к отражающей станции; если для получения того же эффекта ручку настройки надо поворачивать к f_x — судно удаляется.

Наблюдаемая на движущемся судне при переходе между граничными частотами разность фазовых углов зависит от расстояния, скорости изменения и от скорости изменения частоты.

Если положить, что от хода судна фаза меняется на N° за время τ и что на переход от f_a к f_x оператор затрачивает такое же время τ , то при измерении расстояния R , равного

$$R = \frac{v}{720} \frac{N^\circ}{\Delta f},$$

фазовый угол не будет изменяться вовсе в продолжение всего перехода между граничными частотами, так как изменение его, вызываемое вариацией частоты, будет полностью компенсировано изменением, проистекающим вследствие движения корабля.

В этом предельном случае полученный при обратном переходе угол будет со значительной степенью точности равен удвоенному углу, соответствующему измерению при неподвижном корабле.

При меньших расстояниях или при более медленном темпе перехода между граничными частотами будет преобладать влияние перемещения корабля и для правильного вычисления расстояния необходимо учитывать знак изменения фазового угла — брать его с минусом, так как

$$\Phi_a - \Phi_x - \Phi(t_{II} - \tau) < 0,$$

потому что

$$|\Delta\varphi| < |\Phi(t_{II} - t_I)|.$$

3. Графический метод вычисления расстояний

При координации на ходу судна во время гидрографических промеров может потребоваться выполнение больших рядов наблюдений.

Штурману, определяющему положение корабля по радиодальномеру, необходимо возможно более быстрое получение результатов измерений.

Таким образом, и гидрография, и навигация заинтересованы не только в возможно большем упрощении процесса, но и в упрощении последующей обработки первичных результатов наблюдений.

Несложное само по себе вычисление R по формуле (С) может быть сведено к простому графическому построению.

Если в прямоугольных координатах отложить время по оси ординат и приращение фазовых углов, вызванное движением корабля во время измерения, по оси абсцисс, то ctg угла, образуемого прямой, соединяющей точку $(\delta\Phi, \tau)$ с началом координат, определит S —скорость движения судна по отношению к опорной точке (рис. 2, а):

$$S = a \frac{\delta\Phi}{\tau} = a \operatorname{ctg} \alpha.$$

При обратном переходе

$$S_{\text{об}} = -a \operatorname{ctg} \beta.$$

Принимая во внимание, что S во время измерения остается по возможности неизменной, получаем, что

$$S = S_{\text{об}} \text{ и } \angle \alpha = \angle \beta.$$

Отсюда способ решения (рис. 2, б).

В прямоугольной системе координат $\Delta\varphi, t$ наносятся точки $A (\Delta\varphi_{\text{пр}}, \tau_{\text{пр}})$ и $B (\Delta\varphi_{\text{об}}, \tau_{\text{об}})$. Из точек A и B проводятся линии под равными

углами к оси абсцисс таким образом, чтобы обе эти линии пересекали ось $t=0$ в одной точке. Эта точка и определяет действительное значение $\Delta\varphi$ для момента T .

Для нахождения этой точки поступаем следующим образом. Точка, соответствующая числу полуциклов изменения фазы (числу „гамм“), полученному при прямом переходе между граничными частотами и продолжительности этого перехода $(\Delta\varphi_{\text{пр}}, \tau_{\text{пр}})$, наносится на одну сторону оси абсцисс; точка, соответствующая обратному переходу $(\Delta\varphi_{\text{об}}, \tau_{\text{об}})$, наносится по другую сторону этой же линии, как это показано на рис. 3. Легко видеть, что точка пересечения прямой, соединяющей обе нанесенные точки с осью абсцисс, дает искомую разность фаз $\Delta\varphi$.

Точность полученного результата, как и при всяком графическом построении, зависит от принятых масштабов. При масштабах 1 секунда равна 1 мм и 90° (одна „гамма“) равна 10 мм точность графического решения, равная, примерно, $\frac{1}{3}$ мм, обеспечивает получение результата с погрешностью $\pm 25 \text{ м}^1$ т. е. с избытком удовлетворяет практическим требованиям (рис. 3).

¹ Для дальномеров „МПЩ-4“ и „МПЩ-6“, в которых одна „гамма“ соответствует приблизительно 780 м.

В тех случаях, когда приходится пользоваться методикой измерений, не описанной здесь, а обычной, разработанной ранее для измерений между неподвижными пунктами (а таковые случаи могут встретиться на практике), является необходимым учет конечных углов, составляющих часть „гаммы“. Для исключения и в этом случае операций с углами целесообразно пользоваться приспособлением, показанным на рис. 4.

При его помощи непосредственно определяются расстояния, которые должны быть добавлены к взятым из таблиц расстояниям, соответствующим целому числу „гамм“.

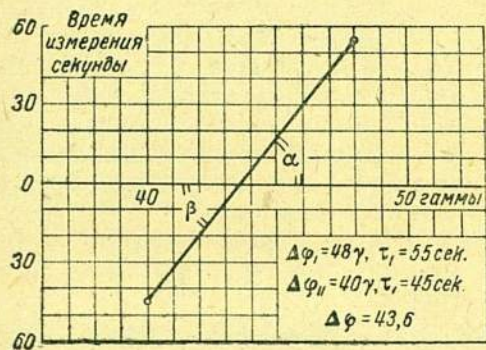


Рис. 3.

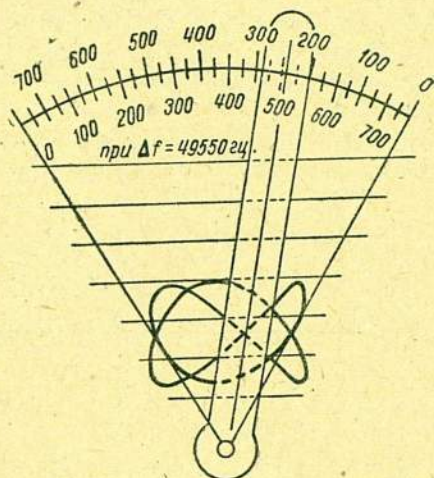


Рис. 4.

При обеспечении экспедиции необходимыми таблицами, графиками и приспособлениями, на обработку и нанесение на карту определяемой точки требуется около 2—3 минут.

4. Точность измерений и возможные причины ошибок

В начале настоящей статьи было предположено во-первых, что дополнительные сдвиги фаз, имеющие место в различных элементах аппаратуры, могут быть исключены из рассмотрения и, во-вторых, что скорость судна относительно опорной точки во время измерения остается постоянной.

Методы учета дополнительных сдвигов фаз в аппаратуре так называемой „фазой девиации“ были описаны уже ранее в другом месте; здесь следует, однако, подчеркнуть, что при измерениях на ходу судна, когда отсутствует возможность контроля фазовой девиации во время наблюдений, в аппаратуре обязательно должно быть выполнено условие равенства сдвигов фаз в приемных устройствах обеих станций на граничных частотах. Фазовая девиация должна быть определена и компенсирована заранее. В аппаратах, имеющих в Гидрографическом управлении Главсевморпути в настоящее время (модернизированные в 1939 г. дальномеры „МПШ-4“ и „МПШ-6“), такого рода компенсация возможна, так как в них применены разработанные в последнее время специальные регулируемые приводы блоков конденсаторов переменной емкости, одновременно изменяющих настройку приемников, трансформаторов частоты и передатчиков.

Тщательной регулировкой аппаратуры компенсация девиации на каждой из станций может быть осуществлена с точностью ее не ниже 5° , что дает в неблагоприятном случае (знаки ошибок одинаковы на судовой и берего-

вой станциях) погрешность в определении расстояния максимально до 100 м. Пренебрежение же правильной настройкой аппаратов влечет за собой ошибки в определении R , доходящие до нескольких сот градусов, т. е. до 1—2 км.

Весьма существенным является и выполнение второго условия — постоянства скоростей S . Для выполнения этого условия с большой степенью приближения (тем большей, чем больше расстояние R) достаточно, чтобы корабль следовал во время измерения прямым курсом и не изменял скорости хода. Так как, как показал опыт, для измерения требуется только несколько минут, выполнение этого условия не может встретить каких-либо препятствий.

Представляется интересным рассмотреть, хотя бы только с качественной стороны, влияние изменения скорости корабля на результаты измерений расстояний. При этом играет роль только изменение S (или Φ) скорости корабля относительно опорного пункта. Поэтому случаи поворота корабля, замедления или ускорения его хода могут быть рассматриваемы совместно.

Предположим корабль совершающим циркуляцию по дуге abc (рис. 5).

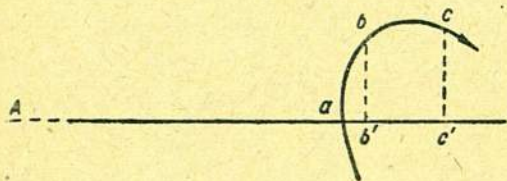


Рис. 5.

Для упрощения рассуждений примем $\tau_1 = \tau_{II}$. Расстояние Ac может быть заменено без большой погрешности суммой первоначального расстояния Aa и проекции на его направление дуги abc .

И в случае равенства промежутков времени τ_1 и τ_{II} и при неизменной скорости хода корабля

$$ab \neq bc;$$

$$\Phi_1 \neq \Phi_{II}.$$

Поэтому искомая разность фаз не может быть определена как среднее арифметическое между наблюдаемыми разностями $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_{II}$ при прямом и обратном переходах между граничными частотами:

$$\Delta\varphi \neq \frac{\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_{II}}{2},$$

так как при этом не учитывается измерение скорости судна S .

Возможны четыре случая:

- судно приближается к опорному пункту с ускорением,
- судно приближается к опорному пункту с замедлением,
- судно удаляется от опорного пункта с ускорением и
- судно удаляется от опорного пункта с замедлением.

Рассмотрим знаки ошибок, возможных при пользовании в этих случаях формулой (С).

Если судно приближается, уравнения имеют вид

$$\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi - \tau_1 \Phi_1;$$

$$\Delta\varphi_{II} = \Delta\varphi + \tau_{II} \Phi_{II}.$$

- В случае возрастания скорости

$$\Phi_{II} > \Phi_1.$$

Полученная $\Delta\varphi_{\text{изм.}}$ окажется больше истинной, соответствующей положению судна в момент T ,

$$\Delta\varphi_{\text{изм.}} = \frac{\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_{\text{II}}}{2} = \Delta\varphi + \frac{\tau}{2} (\Phi_{\text{II}} - \Phi_1);$$

$$\Phi_{\text{II}} - \Phi_1 > 0.$$

б) Скорость приближения замедляется

$$\Phi_1 > \Phi_{\text{II}}.$$

Полученная разность $\Delta\varphi_{\text{изм.}}$ будет меньше истинной $\Delta\varphi$

$$\Delta\varphi_{\text{изм.}} = \Delta\varphi - \frac{\tau}{2} (\Phi_1 - \Phi_{\text{II}});$$

$$\Phi_1 - \Phi_{\text{II}} > 0.$$

в) Предположим судно удаляющимся с возрастающей скоростью

$$\Phi_{\text{II}} > \Phi_1;$$

$$\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi + \tau\varphi_1;$$

$$\Delta\varphi_{\text{II}} = \Delta\varphi - \tau\varphi_{\text{II}}.$$

В этом случае получается также преуменьшенный результат

$$\Delta\varphi_{\text{изм.}} = \Delta\varphi - \frac{\tau}{2} (\Phi_{\text{II}} - \Phi_1).$$

г) Наконец, последний случай: судно удаляется с уменьшающейся скоростью

$$\Delta\varphi_{\text{изм.}} = \Delta\varphi + \frac{\tau}{2} (\Phi_1 - \Phi_{\text{II}}),$$

$$\Phi_1 > \Phi_{\text{II}},$$

получается больший угол, чем это должно быть.

Наше первоначальное предположение о равенстве времени прямого и обратного переходов не меняет смысла сделанных только что выводов; поэтому на основании их можно составить табл. 2 с указанием знака ошибок в определении расстояний при отклонениях корабля от движения с постоянной скоростью.

Таблица 2

Судно	С ускорением	С замедлением
	Измеренное расстояние	
Приближается к базе	Больше	Меньше
Удаляется от базы	Меньше	Больше
	истинного	

Наименее благоприятными будут те случаи циркуляции корабля, когда при этом меняется знак ускорения (поворот корабля на обратный курс).

Для поворота с прямого на обратный курс имеем:

$$\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi - \tau\Phi_1,$$

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi - \tau\Phi_{11},$$

и для противоположного случая (поворот с обратного курса на прямой):

$$\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi + \tau\Phi_1;$$

$$\Delta\varphi_{11} = \Delta\varphi + \tau\Phi_{11}.$$

В обоих случаях знаки поправок в уравнениях совпадают, поэтому измеренная разность фазовых углов будет отличаться от истинной на величину, являющуюся функцией суммы $\Phi_1 + \Phi_{11}$.

$$\Delta_{\text{изм.}} = \Delta\varphi \pm (\Phi_1 + \Phi_{11}).$$

Знак $-$ соответствует первому случаю и знак $+$ второму. Это значит, что при повороте от базы получается расстояние значительно меньше действительного, а при повороте к базе измеренное расстояние окажется значительно больше.

Условимся считать ускорение положительным, если таковое направлено к базе, и отрицательным в обратном случае. Результаты только что проведенного рассмотрения могут быть представлены в виде следующего правила.

Расстояние от корабля до опорного пункта, измеренное радиодальномером и вычисленное по формуле, выведенной для случая равномерного движения судна, получается преувеличенным при наличии положительного ускорения и преуменьшенным при отрицательном ускорении.

Интересно выяснить порядок ошибки в измерении расстояния, появляющейся вследствие невозможности учета скорости корабля во время поворотов. Для этого обратимся к конкретному случаю. Пусть судно, совершая циркуляцию, движется таким образом, что за первую половину измерения оно достигает точки наибольшего удаления, а во время обратного перехода приближается к опорной точке. Если во время каждой из половин измерения были сосчитаны дополнительные p и q полуциклов изменения фазы, то абсолютная ошибка измерения, независимо от величины расстояния R , будет равна

$$\delta R = \frac{p+q}{2} K,$$

где K — коэффициент дальномера.

Если, например, $p=7$, $q=5$ и $K=780$ м, то ошибка

$$\delta R = 4,7 \text{ км.}$$

Отсюда с очевидностью следует недопустимость проведения радиодальномерных определений в моменты поворота корабля. Эти определения должны проводиться при неизменной скорости S , поэтому, в случае необходимости закрепить конец галса, необходимо выждать полной остановки судна и производить измерения обычным способом или же, в случае невозможности остановки, для определения точки поворота исходить из ближайших точек, определенных на ходу судна, но еще при равномерном и прямолинейном движении.

5. Заключение

Во время опытов в Белом море было установлено, что величина отклонения измеренных радиодальномерами расстояний от действительных изменялась в очень широких пределах и что, наряду со значительным числом хороших совпадений, часто имели место отклонения, равные нескольким километрам. Представлялось совершенно необходимым провести анализ наблюдавшихся отклонений и установить причины, их вызывающие.

Результаты теоретической части проведенной в этом направлении работы, изложенные в настоящей статье, могут быть кратко резюмированы следующим образом:

1. Интерференционные радиодальномеры, предназначенные первоначально для определения расстояний между неподвижными пунктами, могут быть, при условии пользования соответствующей методикой наблюдения, применены и для определения расстояний между движущимся судном и береговыми станциями.

2. Разработанная для этого случая методика отличается значительной простотой и позволяет производить определение положения корабля по расстояниям до опорных точек за время, равное нескольким минутам.

3. Все вычисления, требующиеся для определения расстояний на основании первичных материалов наблюдений (фазовые углы, продолжительность переходов), могут быть заменены простыми графическими построениями и отсчетами по таблицам.

4. Для получения надежных результатов необходимо выполнение двух условий: а) правильной настройки аппаратов, гарантирующей равенство фазовых девиаций на граничных частотах, и б) проведения измерений при равномерном, прямолинейном движении корабля.

5. При выполнении этих условий определение теоретически может быть проведено с точностью не меньшей, чем достигнутая на практике в Гидрографическом управлении Главсевморпути точность определения между неподвижными станциями.

В. Л. ЦУРИКОВ

К ВОПРОСУ О ПРОЧНОСТИ ЛЬДА

Прочность льда имеет большое значение в вопросе об условиях плавления во льдах; несмотря на это, насколько нам известно, она с этой точки зрения изучена плохо. В частности, до сих пор не разработан вопрос о связи прочности с другими факторами, главнейшими из которых являются соленость, полостность и температура льда. С другой стороны, еще не выяснены соотношения между прочностью льда и работой ледокола. Некоторые из этих вопросов рассматриваются в настоящей статье; при этом частично использованы данные наблюдений, частично же материалы заимствованы из литературы.

Материалов по связи прочности льда с его соленостью у нас не имелось, в литературе эти данные также почти отсутствуют. Правда, этим вопросом занимался А. К. Блинов, на рукопись которого „К вопросу о солености морского льда в связи с изучением его прочности“ ссылается С. В. Бруевич [9]. Но, к сожалению, эта рукопись не опубликована. Кроме того, В. И. Арнольд-Алябьев [5] приводит эмпирическую

формулу зависимости прочности на перелом от солености, но из-за отсутствия материала эта зависимость нами не рассматривается.

Определения прочности с сопутствовавшими им измерениями полостности тех же образцов велись многими лицами (некоторые определяли не самую полостность, а удельный вес льда, функционально связанный с полостностью). Однако, несмотря на то, что по этому вопросу собран уже значительный материал, до сих пор почти не производилось сравнения этих величин и не делалось попыток выяснить характер зависимости между ними. Исключение составляет только работа В. И. Арнольд-Алябьева [2], построившего график зависимости между полостностью и сопротивлением на излом. К сожалению, и упомянутый автор не дает формулы зависимости между этими величинами; правда, с имевшимся у него материалом сделать это было затруднительно, так как полостность и прочность в испытанном им образце льда изменялись незначительно.

Анализ прочности льда на излом и на сжатие, как функции от температуры, был проделан Б. П. Вейнбергом [10], а также Ф. Ф. Витманом и Н. Б. Шандриковым [11], располагавшими значительным материалом; но все эти данные относились только к пресноводному льду, по морскому же льду, насколько нам известно, имеется только одна подобная статья В. И. Арнольд-Алябьева [5].

Возникает вопрос, который из перечисленных выше факторов оказывает наибольшее влияние на прочность льда. Дать ответ на этот вопрос для времени зимних ледокольных операций, когда температура и соленость льда могут значительно изменяться, в настоящее время затруднительно.

Что же касается тающего льда, то в нем температуры равны температуре его плавления, т. е. почти однородны; благодаря стеканию из него солевых растворов этот лед опресняется, а, следовательно, становится более или менее однородным и по солености. В таком льду главную роль безусловно играет полостность. Со льдом именно этого типа приходится главным образом иметь дело судам, участвующим в арктических плаваниях.

I. Зависимость прочности от полостности

Изучая вертикальное изменение различных факторов в толще льда Белого моря, мы в ряде случаев обнаружили между кривыми полостности (V см³/кг) и временным сопротивлением на излом (W кг/см²) антибатность. Для примера вертикальное распределение этих величин в одной из льдин дано на рис. 1.

Если в некотором бруске ледяного покрова полостность, выраженная в см³ газа на килограмм природного льда (в данном случае под природным льдом подразумевается естественная смесь льда с пузырьками газа), будет $V \frac{\text{см}^3}{\text{кг}}$ и плотность льда при этом δ , то в 1000 см³ сумма объемов полостей будет $\frac{V}{\delta}$ см³. Если при этом количество полостей в 1000 см³ будет u , то средний объем одной полости будет $\frac{V}{\delta u}$ см³.

Допуская, что все полости сферической формы, получим радиус сферы из выражения:

$$\begin{aligned} \text{т. е.} \quad \frac{4}{3} \pi r^3 &= \frac{V}{\delta u} \text{ см}^3, \\ r \text{ см} &= \left(\frac{3V}{4\pi \delta u} \right)^{\frac{1}{3}} \end{aligned} \quad (1)$$

Предполагая, что все полости в толще льда распределены равномерно, и имея в 1000 см^3 u полостей, в 1 см^3 получим $0,001 u$ полостей, а любая прямая длиной в 1 см , проведенная в толще ледяного покрова, пересечет $(0,001 u)^{\frac{1}{3}}$ полостей. Эта прямая будет проходить на величину $2r (0,001 u)^{\frac{1}{3}}$ см через полости и на протяжении $q = 1 - 2r (0,001 u)^{\frac{1}{3}}$ см через чистый лед. Подставляя сюда выражение (1), имеем:

$$q = 1 - \left(\frac{0,024V}{4\pi\delta} \right)^{\frac{1}{3}}$$

или, обозначая $\frac{0,024}{4\pi\delta}$ через A ,

$$q = 1 - (AV)^{\frac{1}{3}}. \quad (2)$$

Прочность льда на излом выражается формулой:

$$W = \frac{3lp}{2yz^2}, \quad (3)$$

где W — временное сопротивление льда в кг/см^2 ;

p — разрушающая нагрузка в кг ;

l — длина бруска

y — ширина бруска

z — высота бруска

в станке в см .

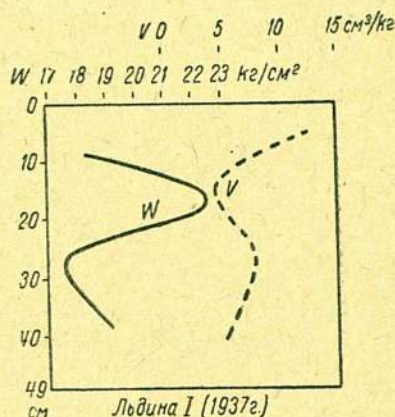


Рис. 1. Вертикальное распределение прочности и полостей в ледяном покрове (пример).

Пусть W — прочность и p — нагрузка, необходимая для разрушения некоторого бруска природного льда.

Если сечение бруска, состоящего из смеси льда и полостей, есть y см и z см, то сечение чистого (бесполостного) льда будет qu см и qz см. Подставив сюда уравнение (2), получим:

$$y \left[1 - (AV)^{\frac{1}{3}} \right] \quad \text{и} \quad z \left[1 - (AV)^{\frac{1}{3}} \right].$$

Следовательно, знаменатель правой части уравнения (3) для чистого (бесполостного) льда будет:

$$2y \left[1 - (AV)^{\frac{1}{3}} \right] z^2 \left[1 - (AV)^{\frac{1}{3}} \right]^2 = 2yz^2 \left[1 - 3(AV)^{\frac{1}{3}} + 3(AV)^{\frac{2}{3}} - AV \right],$$

откуда, обозначив временное сопротивление бесполостного льда через W_0 , получим:

$$W_0 = \frac{3lp}{2yz^2 \left[1 - 3(AV)^{\frac{1}{3}} + 3(AV)^{\frac{2}{3}} - AV \right]}.$$

Из сравнения этого выражения с уравнением (3) найдем отношение прочности природного льда W к прочности бесполостного льда W_0 :

$$\frac{W}{W_0} = 1 - 3(AV)^{\frac{1}{3}} + 3(AV)^{\frac{2}{3}} - AV$$

или, обозначив правую часть этой формулы через $f(V)$,

$$\frac{W}{W_0} = f(V), \quad (4)$$

откуда

$$W = W_0 f(V). \quad (5)$$

Так как

$$A = \frac{0,024}{4 \pi \delta}$$

то

$$A = \frac{0,00191}{\delta}. \quad (6)$$

удельный вес δ можно выразить уравнением:

$$\delta = \frac{1000}{\frac{1000}{\delta_n} + V}, \quad (7)$$

где δ_n — удельный вес бесполостного льда.

Из формул (6) и (7) получаем:

$$A = 0,00191 \left(\frac{1}{\delta_n} + 0,001 V \right),$$

откуда:

$$AV = 0,00191 \left(\frac{V}{\delta_n} + 0,001 V^2 \right). \quad (8)$$

Подставляя полученное значение AV в уравнение (5), получим:

$$W = W_0 \left\{ 1 - 3 \left[0,00191 \left(\frac{V}{\delta_n} + 0,001 V^2 \right) \right]^{\frac{1}{3}} + 3 \left[0,00191 \left(\frac{V}{\delta_n} + 0,001 V^2 \right) \right]^{\frac{2}{3}} - \right. \\ \left. - 0,00191 \left(\frac{V}{\delta_n} + 0,001 V^2 \right) \right\}$$

или

$$W = W_0 \left[1 - 0,372 \left(\frac{V}{\delta_n} + 0,001 V^2 \right)^{\frac{1}{3}} + 0,0462 \left(\frac{V}{\delta_n} + 0,001 V^2 \right)^{\frac{2}{3}} - \right. \\ \left. - 0,00191 \left(\frac{V}{\delta_n} + 0,001 V^2 \right) \right]. \quad (9)$$

Пользуясь этим уравнением, можно рассчитать временное сопротивление W , зная W_0 , полостность V и удельный вес бесполостного льда δ_n . Последняя величина изменяется в зависимости от солёности. Для пресного льда ее можно принять равной 0,9164 по данным Арцыбашева и Парфиановича (заимствовано из таблиц Ландольта и Бернштейна [16]). Н. Н. Зубов [12 и 13] доказывает, что, с увеличением солёности льда на 5‰, δ_n увеличится на 0,04. Правда, при этом упомянутый автор исходил из допущения, что соотношение солей во льду будет таким же, как и в морской воде, но на практике изменения δ_n с увеличением солёности не будут сильно отличаться от данных Н. Н. Зубова, и, как указывает В. И. Арнольд-Алябьев [3], для льда с солёностью 5‰ (а солёность морского льда редко превышает 5‰) можно принять δ_n приближенно равным 0,92. Для наших целей эта величина дает вполне достаточную точность. Исходя из величины $\delta_n = 0,92$, нами были вычислены значения $f(V)$ в зависимости от полостности.

По этим данным была построена нижняя кривая на рис. 2. Если вместо полостности $V \text{ см}^3/\text{кг}$ определялся удельный вес льда δ , то и для этой величины можно найти формулу, аналогичную (9). Из уравнения (7) получаем:

$$V = 1000 \left(\frac{1}{\delta} - \frac{1}{\delta_n} \right). \quad (10)$$

Перемножая выражения (6) и (10), имеем:

$$AV = 1,91 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n} \right). \quad (11)$$

Подставляя полученные значения AV в уравнение (5), получаем:

$$W = W_0 \left\{ 1 - 3 \left[1,91 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n} \right) \right]^{\frac{1}{3}} + 3 \left[1,91 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n} \right) \right]^{\frac{2}{3}} - 1,91 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n} \right) \right\}$$

или

$$W = W_0 \left[1 - 3,72 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n} \right)^{\frac{1}{3}} + 0,46 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n} \right)^{\frac{2}{3}} - 1,91 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n} \right) \right]. \quad (12)$$

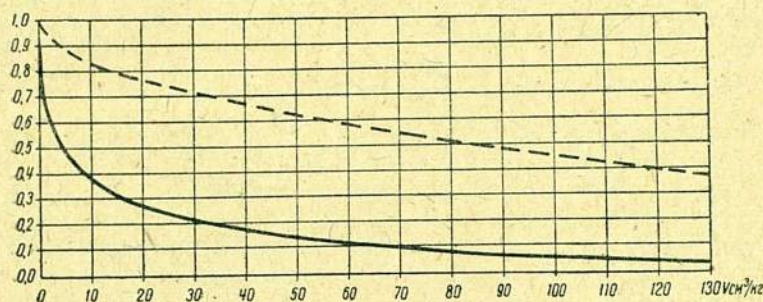


Рис. 2. График для вычисления $f(V)$ и $f_1(V)$ в зависимости от полостности.

Оба эти уравнения (9) и (12) выведены, исходя из допущений, что, во-первых, все полости имеют сферическую форму, во-вторых, полостность распределена в бруске равномерно и, в-третьих, уменьшение живого сечения за счет полостности сказывается на прочности как уменьшение сечения бруска. Что касается последнего допущения, то вообще в сопротивлении материалов принято считать, что местные пороки, как, например, трещины, прослойки, шлаки, раковины, имеют значение, аналогичное изменению сечения. При проверке выведенных формул и при отыскании W_0 ошибку за счет второго допущения можно уменьшить, беря образцы для нахождения полостности из брусков для определения прочности уже после излома. Ошибка будет тем меньше, чем ближе брать образцы к месту излома.

Аналогично прочности на излом выведем и для прочности на сжатие уравнение ее зависимости от полостности.

Прочность льда на сжатие выражается формулой:

$$Z = \frac{P}{xy}, \quad (13)$$

где Z — временное сопротивление льда на сжатие в $\text{кг}/\text{см}^2$, x — длина бруска в см, остальные обозначения те же, что и приведенные выше.

Как и раньше, условимся понимать под Z прочность и под p нагрузку, необходимую для разрушения некоторого бруска природного льда.

Из изложенного выше следует, что при сечениях образца x и y сечения в нем чистого (бесполостного) льда будут:

$$x [1 - (AV)^{\frac{2}{3}}] \quad \text{и} \quad y [1 - (AV)^{\frac{2}{3}}].$$

Следовательно, для бесполостного льда знаменатель правой части уравнения (13) будет:

$$x [1 - (AV)^{\frac{1}{3}}] y [1 - (AV)^{\frac{1}{3}}] = xy [1 - 2(AV)^{\frac{1}{3}} + (AV)^{\frac{2}{3}}],$$

откуда, обозначив прочность чистого бесполостного льда через Z_0 , получим:

$$Z_0 = \frac{p}{xy[1 - 2(AV)^{\frac{1}{3}} + (AV)^{\frac{2}{3}}]}.$$

Сравнивая это выражение с уравнением (13), находим отношение прочности природного льда Z к прочности бесполостного льда Z_0 :

$$\frac{Z}{Z_0} = 1 - 2(AV)^{\frac{1}{3}} + (AV)^{\frac{2}{3}}, \quad (14)$$

откуда

$$Z = Z_0 [1 - 2(AV)^{\frac{1}{3}} + (AV)^{\frac{2}{3}}], \quad (15)$$

но вместо AV можно подставить его значение, взятое из уравнения (8). Тогда

$$Z = Z_0 \left\{ 1 - 2 \left[0,00191 \left(\frac{V}{\delta n} + 0,001 V^2 \right) \right]^{\frac{1}{3}} + \left[0,00191 \left(\frac{V}{\delta n} + 0,001 V^2 \right) \right]^{\frac{2}{3}} \right\}$$

или

$$Z = Z_0 \left[1 - 0,248 \left(\frac{V}{\delta n} + 0,001 V^2 \right)^{\frac{1}{3}} + 0,151 \left(\frac{V}{\delta n} + 0,001 V^2 \right)^{\frac{2}{3}} \right]. \quad (16)$$

Наконец, выведем уравнение зависимости прочности на сжатие от удельного веса δ . Для этого в формулу (15) подставим значение AV , полученное из выражения (11):

$$Z = Z_0 \left[1 - 0,248 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta n} \right)^{\frac{1}{3}} + 0,151 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta n} \right)^{\frac{2}{3}} \right]. \quad (17)$$

К этим уравнениям относятся все те допущения, которые были сделаны при выводе формул (9) и (12).

Против всех выведенных выше уравнений можно возразить, что полостность в форме сферических пузырьков, исходя из которой они выведены, встречается в зимнем льду, тогда как в весеннем льду и летнем арктическом льду наблюдается полостность совсем иного вида — в форме сквозных вертикальных канальцев. Следовательно, для весеннего и летнего арктического льда (для которых, как сказано выше, влияние полостности на прочность особенно велико) выведенные формулы неприменимы.

Выведем уравнения зависимости прочности от полостности в форме вертикальных канальцев.

Если в некотором бруске ледяного покрова полостность V см³/кг и плотность бруска при этом δ , то в 1000 см³ сумма объемов полостей будет $\frac{V}{\delta}$ см³. Если при этом при высоте бруска z , количество полостей будет u , то средний объем одной полости будет $\frac{V}{\delta u}$ см³.

Допуская, что все полости цилиндрической формы и что они тянутся сквозь всю толщу бруска (от его верхней поверхности до нижней), получим радиус такого цилиндра:

$$z \pi r^2 = \frac{V}{\delta u};$$

$$r \text{ см} = \left(\frac{V}{\delta u \pi z} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (18)$$

Предположим, что полости распределены в толще льда равномерно. Тогда, имея в 1000 см³ u полостей, находим, что любое горизонтальное сечение нашего бруска площадью в $\frac{1000}{z}$ см² пересечет также u полостей, а полость в 1 см² пересечет 0,001 uz полостей. Следовательно, любая горизонтальная прямая длиной в 1 см пересечет $(0,001 uz)^{\frac{1}{2}}$ полостей. Эта прямая будет проходить на $2r$ $(0,001 uz)^{\frac{1}{2}}$ см через полости и на $q = 2r$ $(0,001 uz)^{\frac{1}{2}}$ см через чистый лед. Подставляя сюда выражение (18), получаем:

$$q = 1 - \left(\frac{0,008 V}{\pi \delta} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (19)$$

В случае, когда испытывается горизонтальный брусок льда (полости в нем будут расположены вертикально, также как и в природе), горизонтальное сечение природного льда будет y см, то сечение чистого льда будет qy см. Подставив сюда уравнение (19), получим:

$$y \left[1 - \left(\frac{0,008 V}{\pi \delta} \right)^{\frac{1}{2}} \right]. \quad (20)$$

Следовательно, знаменатель правой части уравнения (3) для бесполостного льда будет:

$$2y z^2 \left[1 - \left(\frac{0,008 V}{\pi \delta} \right)^{\frac{1}{2}} \right],$$

откуда для прочности бесполостного льда получим:

$$W_0 = \frac{3 lp}{2y z^2 \left[1 - \left(\frac{0,008 V}{\pi \delta} \right)^{\frac{1}{2}} \right]}.$$

Из сравнения этого выражения с уравнением (3) найдем отношение прочности природного льда W к прочности бесполостного льда W_0 :

$$\frac{W}{W_0} = 1 - \left(\frac{0,008 V}{\pi \delta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

или, обозначив правую часть этой формулы как $f_1(V)$,

$$\frac{W}{W_0} = f_1(V),$$

откуда

$$W = W_0 f_1(V) = W_0 \left[1 - \left(\frac{0,008 V}{\pi \delta} \right)^{\frac{1}{2}} \right].$$

$\frac{0,008}{\pi}$ можно выразить числом $\frac{0,008}{\pi} = 0,002544$, а δ выражается через V с помощью уравнения (7). Следовательно,

$$W = W_0 \left\{ 1 - \left[0,002544 V \left(\frac{1}{\delta_n} + 0,001 V \right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

или

$$W = W_0 \left[1 - 0,0504 \left(\frac{V}{\delta_n} + 0,001 V^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]. \quad (22)$$

С помощью уравнения (22) можно рассчитать сопротивление W . Для облегчения этого действия мы вычислили величины $f_1(V)$ при различных значениях V , исходя из величины $\delta_n = 0,92$ (рис. 2, верхняя пунктирная линия).

Попробуем вычислить W как функцию удельного веса льда. Для этого подставим уравнение (10) в формулу (21):

$$\frac{W}{W_0} = 1 - \left[\frac{8}{\pi} \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n} \right) \right]^{\frac{1}{2}},$$

откуда

$$\frac{W}{W_0} = 1 - 1,59 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n} \right)^{\frac{1}{2}}$$

или

$$W = W_0 \left[1 - 1,59 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n} \right)^{\frac{1}{2}} \right]. \quad (23)$$

Выведем уравнения зависимости прочности на сжатие от полостности и удельного веса аналогично выражениям (22) и (23). Из сличения формул (13) и (20) видно, что знаменатель правой части формулы (13) для бесполостного льда будет:

$$xy \left[1 - \left(\frac{0,008 V}{\pi \delta} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2,$$

откуда прочность бесполостного льда на сжатие выражается формулой:

$$Z_0 = \frac{P}{xy \left[1 - \left(\frac{0,008 V}{\pi \delta} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2}. \quad (24)$$

Деля уравнение (13) на (24), получим:

$$\frac{Z}{Z_0} = \left[1 - \left(\frac{0,008 V}{\pi \delta} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2$$

или

$$\frac{Z}{Z_0} = \left[1 - \left(0,002544 \frac{V}{\delta} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2,$$

откуда

$$Z = Z_0 \left[1 - \left(0,002544 \frac{V}{\delta} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (25)$$

Подставив сюда выражение (7), имеем:

$$Z = Z_0 \left\{ 1 - \left[0,002544 \left(\frac{V}{\delta_n} + 0,001 V^2 \right) \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

или

$$Z = Z_0 \left[1 - 0,0504 \left(\frac{V}{\delta_n} + 0,001 V^2 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (26)$$

Зависимость прочности от удельного веса находится путем подстановки формулы (10) в (25):

$$Z = Z_0 \left\{ 1 - \left[2,54 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^2,$$

откуда

$$Z = Z_0 \left[1 - 1,59 \left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (27)$$

Эти формулы [(22), (23), (26) и (27)] выведены, исходя из почти тех же допущений, что были сделаны раньше при выводе уравнений (9), (12), (16) и (17), а именно: 1) что все полости — цилиндрической формы, 2) что они распределяются в ледяном бруске равномерно и 3) что уменьшение живого сечения за счет полостности сказывается на прочности, как уменьшение сечения бруска.

Следует учесть, что весной, когда полости имеют вид сквозных каналов, современные методы измерения полостности дают несколько преуменьшенные величины. При погружении образца льда в жидкость, прежде чем наблюдатель успеет накрыть образец колпаком газометра и насосет жидкость в бюретку, некоторое количество жидкости успеет проникнуть в полости и вытеснить находившийся в них газ. То же получается при определении удельного веса с помощью гидростатического взвешивания: жидкость, заполняя полости, уменьшает потерю в весе. Все это вносит некоторую погрешность в вычисление, которая будет особенно большой при больших полостностях, если эти полостности определены обычными методами.

Попробуем проверить, применимы ли на практике найденные нами формулы. На рис. 3 показано изменение временного сопротивления на излом (по абсциссе) в зависимости от полостности из тех же брусков (по ординате). Все приведенные данные относятся к брускам, взятым горизонтально, у которых разрушающая сила была направлена перпендикулярно поверхности ледяного покрова. Там же показаны значения W , вычисленные по формуле (22), при W_0 , равном 10 и 20 кг/см² (сплошные линии); кроме того, на графике построена кривая значений W , вычисленная по формуле (9) при $W_0 = 30$ кг/см² (пунктирная кривая).

Для составления графиков был использован материал наблюдений на Белом море И. П. Тращинского (в 1936 г.) и наш собственный (в 1927 г.).

Как видно из этих графиков, расположение точек подтверждает теоретические зависимости W от полостности. Большинство точек располагается вокруг кривой $W = W_0 f_1(V)$ при $W_0 = 10$ кг/см², только в нижней части

графика точки ложатся вправо от этой кривой, т. е. в сторону увеличения прочности. Если соединить линиями точки, относящиеся к одним и тем же образцам льда, то окажется, что в верхней части графика направление этих линий будет соответствовать направлению кривых $W = W_0 f_1(V)$, а в нижней части — направлению кривой $W = W_0 f(V)$. Следовательно, при малой полостности (V см³/кг) форма полостей была близка к сферической. При больших полостностях значительное число точек начинает располагаться вокруг кривой, вычисленной по уравнению (22) при $W_0 = 10$ кг/см². Следовательно, при больших полостностях форма полостей приближается к цилиндрической.

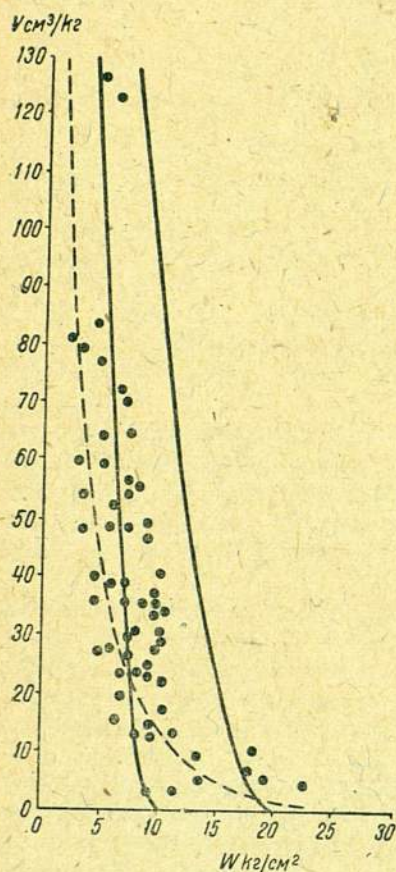


Рис. 3. Связь прочности и полостности по наблюдениям.

Величины V или δ можно найти эмпирически. Остается прочность бесполостного льда W_0 . Определить ее, не зная W , нельзя, поэтому возникает вопрос: нельзя ли ее принять за постоянную величину с некоторой степенью приближения? Для этого обратимся к эмпирическому материалу по Белому морю, который уже использован для составления рис. 3. Вычисления W_0 приведены в табл. 1. Величины $f(V)$ и $f_1(V)$ сняты с рис. 2.

Как видно из табл. 1, формула (22) в большинстве случаев дает лучшую сходимость W_0 , чем формула (9). Исключение составляют только льдины I (1936 г.), I (1937 г.) и VI (1937 г.), но во второй из них величины W_0 , вычисленные по уравнению (22), почти так же хорошо сходятся, как вели-

Ожидать полного совпадения наблюдаемых данных с рассчитанными теоретически нельзя, так как, во-первых, определения производились при различной температуре, о некоторой однородности которой можно говорить только в пределах одной льдины, и, во-вторых, трудно ожидать полной однородности W_0 , тем более что образцы льда имели различные солёности.

Следует отметить, что не во всех льдинах наблюдалась упомянутая выше обратная зависимость между прочностью и полостностью, и сказать, в какой мере это явление следует считать общим, в настоящее время затруднительно. С другой стороны, можно предполагать, что это явление в морях распространено довольно широко, так как данные, приведенные С. О. Макаровым [17, стр. 414—422] для морского льда района Шпицбергена, подтверждают правильность уравнения (12), а следовательно и уравнения (9).¹

Из трёх величин, входящих в уравнения (9), (12), (22), (23) и необходимых для вычисления W , удельный вес бесполостного льда δ_n можно приближенно принять как постоянную величину, что было изложено выше.

¹ Уже после того, как настоящая статья была сдана в печать, нами был обработан материал, который подтверждает правильность формулы (26) для прочности на сжатие.

Таблица 1

№ образ-ца	Горизонт в см	W	V	По формуле (9)		По формуле (22)	
				f(V)	W ₀	f ₁ (V)	W ₀
Льдина I. 19/III 1936 г.							
4	27—32	7,9	23,8	0,25	31,6	0,73	10,8
7	27—32	13,9	5,9	0,46	30,2	0,87	16,0
8	43—48	13,5	9,6	0,38	35,5	0,83	25,5
10	43—48	7,9	13,0	0,34	23,2	0,81	9,7
Льдина II. 21/III 1936 г.							
11	6—13	3,0	60,0	0,12	25,0	0,57	5,3
12	6—13	3,0	25,0	0,24	12,5	0,74	4,2
13	6—13	3,5	54,6	0,13	26,9	0,59	5,9
14	6—13	3,4	48,2	0,15	22,7	0,62	5,5
15	23—31	8,9	3,5	0,53	16,8	0,90	9,9
16	23—31	11,6	4,1	0,51	22,7	0,89	13,0
17	39—46	8,9	23,0	0,25	35,6	0,75	11,9
18	39—46	10,7	66,4	0,11	97,3	0,55	19,5
19	39—46	5,6	18,0	0,28	20,0	0,77	7,3
Льдина III. 20/III 1936 г.							
22	9—16	9,9	41,7	0,17	58,2	0,65	15,2
23	9—16	7,2	39,1	0,17	42,3	0,66	10,9
24	16—23	10,3	22,5	0,26	39,6	0,75	13,7
25	16—23	11,6	13,1	0,34	34,1	0,81	14,3
26	16—23	7,4	26,2	0,23	32,2	0,73	10,1
27	16—23	9,6	15,0	0,32	30,0	0,79	12,2
28	64—71	11,9	3,8	0,52	22,9	0,30	13,2
29	64—71	11,5	4,9	0,49	23,5	0,88	13,1
30	64—71	11,9	5,1	0,48	24,8	0,88	13,5
Льдина IV. 22/III 1936 г.							
31	8—15	7,0	48,9	0,15	46,7	0,62	11,3
32	8—15	7,2	64,1	0,11	55,5	0,55	13,1
33	8—15	8,8	46,5	0,16	55,0	0,63	14,0
34	15—22	8,7	35,7	0,19	45,8	0,68	12,8
35	15—22	7,8	24,6	0,24	32,5	0,74	10,5
36	15—22	7,9	30,6	0,21	37,6	0,70	11,3
37	15—22	10,5	16,9	0,30	35,0	0,78	13,5
38	22—29	10,0	30,0	0,21	47,6	0,71	14,1
39	22—29	9,9	28,7	0,22	45,0	0,72	13,8
40	22—29	9,6	28,2	0,22	43,6	0,72	13,3
41	29—37	6,9	23,1	0,25	27,4	0,75	9,2
42	29—37	9,9	34,6	0,19	52,1	0,68	14,5
43	29—37	8,5	28,1	0,22	38,6	0,72	11,8
44	29—37	9,8	35,6	0,19	51,6	0,68	14,4
Льдина VI. 25/III 1936 г.							
57	5—12	11,4	57,4	0,12	95,0	0,58	19,7
59	23—30	7,1	56,9	0,12	59,2	0,58	12,2
60	23—30	5,4	42,6	0,16	33,8	0,65	8,3
61	23—30	8,1	56,1	0,13	68,3	0,59	13,7
62	37—44	9,4	36,3	0,18	52,2	0,68	13,8
63	37—44	9,0	24,1	0,25	36,0	0,74	12,2
64	37—44	4,0	11,2	0,36	11,1	0,82	4,9
65	37—44	3,0	56,0	0,13	23,1	0,59	5,1

(Продолжение)

№ образ- ца	Горизонт в см	W	V	По формуле (9)		По формуле (22)	
				f(V)	W ₀	f ₁ (V)	W ₀
Льдина VII. 25/III 1936 г.							
70	6—13	6,0	122,7	0,04	150,0	0,38	15,8
71	6—13	4,3	126,2	0,04	107,5	0,38	11,3
72	6—13	5,1	64,3	0,11	46,3	0,55	9,1
73	27—34	6,9	36,4	0,18	38,3	0,68	10,1
74	27—34	7,4	30,5	0,21	35,2	0,70	10,6
75	27—34	10,1	35,0	0,19	43,1	0,68	14,8
76	27—34	9,2	49,1	0,15	51,3	0,62	14,8
77	41—48	7,7	23,6	0,25	30,8	0,74	10,4
78	41—48	9,5	13,2	0,34	27,9	0,81	11,7
79	41—48	6,2	15,7	0,31	20,0	0,79	7,8
80	41—48	6,8	20,1	0,27	25,2	0,76	8,9
81	41—48	5,3	27,5	0,22	24,1	0,72	7,4
Льдина VIII. 9/V 1936 г.							
86	5—12	5,7	47,8	0,15	38,0	0,62	9,0
87	5—12	5,7	49,2	0,15	38,0	0,62	9,0
88	20—27	4,4	83,7	0,08	55,0	0,50	8,8
89	20—27	5,0	76,9	0,09	55,6	0,52	9,6
90	20—27	4,4	39,8	0,17	25,9	0,66	6,7
91	37—44	5,0	59,1	0,12	41,7	0,58	8,6
92	37—44	4,4	36,5	0,18	24,4	0,68	6,5
Льдина I. 13/II 1937 г.							
	5—12	18,3	10,7	0,37	49,5	0,82	22,3
	14—20	22,5	5,2	0,48	46,9	0,88	25,6
	24—31	17,6	7,2	0,43	40,9	0,85	20,7
	35—42	19,1	6,0	0,46	41,5	0,87	22,0
Льдина V. 20/IV 1937 г.							
	12—19	6,6	78,6	0,08	82,5	0,51	12,9
	30—37	7,7	78,0	0,08	96,2	0,52	14,8
Льдина VI. 21/IV 1937 г.							
	9—16	2,9	78,8	0,08	36,2	0,51	5,7
	17—24	2,9	78,8	0,08	36,2	0,51	5,7
	26—33	6,7	70,1	0,10	67,0	0,54	12,4
	35—43	6,2	72,0	0,09	68,9	0,53	11,7
	43—49	5,5	39,0	0,15	36,7	0,62	8,9
Льдина VII. 23/IV 1937 г.							
	5—12	6,3	52,2	0,14	45,0	0,60	10,5
	18—25	7,8	21,4	0,27	28,9	0,75	10,4
	30—37	7,4	56,4	0,13	56,9	0,59	12,5
	37—44	7,4	81,3	0,08	82,5	0,51	14,5
Льдина IV. 28/II 1937 г. Пресноводное озеро							
	0—5	24,9	19,5	0,38	65,5	0,76	32,7
	15—22	37,3	0,0	1,00	37,3	1,00	37,3
	25,5—32,5	51,9	1,0	0,67	77,5	0,95	54,6
	34—40	65,5	1,2	0,65	100,8	0,94	69,7

чины W_0 , найденные с помощью $f(V)$. Это дает основание предполагать, что в большинстве случаев форма полостей была ближе к цилиндрической, чем к сферической, но иногда наблюдалось и обратное. Мы предполагаем, что сферический тип полостности преобладает в начале зимы.

В некоторых льдинах наблюдаются довольно значительные изменения W_0 , особенно в льдинах II, VI и VII (все 1936 г.); но в большинстве случаев эти изменения сравнительно невелики и не превышают 50% от самих величин.

Полного совпадения всех значений W_0 по вертикали ожидать трудно, так как: 1) образцы, взятые даже из одной и той же льдины, испытывались не при вполне одинаковой температуре; 2) образцы имели различную соленость; 3) мы не всегда имели возможность брать пробу на полостность у самого места разлома; придерживался ли этого И. П. Тращинский, нам неизвестно; 4) не все полости имели вид сфер или сквозных цилиндров; 5) даже при однородности всех предыдущих условий W_0 по вертикали может несколько изменяться, так как зависит от кристаллического строения льда.

Мы предполагаем, что если в дальнейшем будут найдены зависимости сопротивления льда от температуры и солености, то, вводя поправки за счет этих величин, можно будет получить еще более однородные значения W_0 , особенно, если брать пробы на V у самого места разлома.

Практически вероятно для ряда случаев можно будет приближенно принять какое-то среднее значение W_0 с погрешностью $\pm 15-20\%$ (а может быть даже с еще меньшей погрешностью) и вычислять W с такой же погрешностью.

К сожалению, в нашем распоряжении не имелось материала, по которому можно было бы судить об изменчивости Z_0 , но можно предполагать, что изменения этой величины будут не больше, чем изменения W_0 .

Из табл. 1 можно подметить влияние солености на прочность льда. Лед из пресноводного озера (приведено в конце таблицы) имеет значительно большую прочность, чем морской лед; это становится особенно заметным, если сравнивать величины W_0 .

II. Зависимость прочности от температуры

Б. П. Вейнберг [10] использовал огромный материал по прочности льда на излом, взятый им из литературных источников и из собственных наблюдений. В результате Б. П. Вейнберг вывел зависимость прочности от температуры. Подобная зависимость для прочности на сжатие была выведена Ф. Ф. Витманом и Н. П. Шандриковым [11], также базировавшимися на большом материале. Все эти данные относятся исключительно к пресноводному льду. Зависимость прочности морского льда от температуры была рассмотрена В. С. Назаровым [19], но, к сожалению, он использовал материалы только по сопротивлению льда на удар.

На основании зависимости, найденной Б. П. Вейнбергом, можно вычислить величины отношения временного сопротивления при некоторой температуре (W_θ) к временному сопротивлению при 0° ($W_{\theta=0}$), при различных температурах θ° . Ф. Ф. Витман и Н. П. Шандриков определяли прочность на сжатие только при температурах ниже -5° , поэтому для

вычисления $\frac{Z_\theta}{Z_{\theta=0}}$ пришлось найти $Z_{\theta=0}$ путем экстраполяции, что делает величину $\frac{Z_\theta}{Z_{\theta=0}}$ менее надежной. Результаты этих вычислений сведены табл. 2.

Таблица 2

ϑ°	0°	-3°	-5°	-10°	-15°	-20°
$\frac{W_\vartheta}{W_{\vartheta=0}}$	1,00	1,15	1,21	1,37	1,47	1,55
$\frac{Z_\vartheta}{Z_{\vartheta=0}}$	1,0	—	1,9	2,4	2,9	3,5 ¹

Из табл. 2 видно, что с понижением температуры прочность на сжатие возрастает гораздо быстрее, чем прочность на излом. Зависимость прочности морского льда на удар от температуры носит совершенно иной характер. Возникает вопрос: справедливы ли зависимости, приведенные в табл. 2 для морского льда?

Мы предположили, что отношения $\frac{W_\vartheta}{W_{\vartheta=0}}$ и $\frac{Z_\vartheta}{Z_{\vartheta=0}}$ должны зависеть от температуры через тепловое расширение льда. Аналогичная зависимость для других тел хорошо известна в сопротивлении материалов. В качестве материалов по тепловому расширению льда мы использовали данные Otto Peterson'a [20]. Этот автор дает для пресного льда величины отношения объема льда при данной температуре (v_ϑ) к его объему при 0° ($v_{\vartheta=0}$) в зависимости от температуры. Настоящие величины приведены в табл. 3. Данные O. Peterson'a мы сравнили с данными Б. П. Вейнберга; сравнивать их с данными Ф. Ф. Витмана и Н. П. Шандрикова мы не сочли нужным, так как, во-первых, величины $\frac{Z_\vartheta}{Z_{\vartheta=0}}$, приведенные в табл. 2, малонадежны и, во-вторых, кривые:

$$\frac{W_\vartheta}{W_{\vartheta=0}} = f(\vartheta^\circ) \text{ и } \frac{Z_\vartheta}{Z_{\vartheta=0}} = f_1(\vartheta^\circ)$$

вполне синбатны, и все выводы, касающиеся прочности на перелом, относятся и к прочности на сжатие.

Таблица 3

ϑ°	$\frac{v_\vartheta}{v_{\vartheta=0}}$	δ_ϑ при $\delta_{\vartheta=0} = 0,9164$	ϑ°	$\frac{v_\vartheta}{v_{\vartheta=0}}$	δ_ϑ при $\delta_{\vartheta=0} = 0,9164$
— 0,02	1,000 000	0,9164	— 3,00	0,999 598	0,9168
— 0,03	1,000 006	0,9164	— 4,00	0,999 437	0,9169
— 0,15	1,000 007	0,9164	— 6,00	0,999 122	0,9172
— 0,20	1,000 004	0,9164	— 7,00	0,998 962	0,9174
— 0,30	0,999 990	0,9164	— 9,00	0,998 642	0,9176
— 0,40	0,999 977	0,9164	— 10,00	0,998 484	0,9178
— 0,50	0,999 964	0,9164	— 17,00	0,997 417	0,9188
— 1,00	0,999 894	0,9165	— 18,00	0,997 268	0,9189
— 2,00	0,999 769	0,9166			

Примечание. Приводимые данные относятся ко льду из полидестиллированной воды (pure water ice).

¹ У В. И. Арнольд-Алябьева ([1] и [5]) для Балтийского, Баренцова и Карского морей получились несколько большие значения:

$$\frac{W_\vartheta}{W_{\vartheta=0}} \text{ и } \frac{Z_\vartheta}{Z_{\vartheta=0}}.$$

На рис. 4 величины $\frac{v_{\theta}}{v_{\theta=0}}$ сопоставлены с данными Б. П. Вейнберга. По абсциссе отложены температуры, а по ординате — отношение прочностей $\frac{W_{\theta}}{W_{\theta=0}}$ — верхняя кривая и отношение объемов $\frac{v_{\theta}}{v_{\theta=0}}$ — нижняя кривая. Как видно, между обеими кривыми наблюдается совершенно явная антибатность. Правда, при температурах, близких к 0° , $\frac{v_{\theta}}{v_{\theta=0}}$ становится больше единицы, следовательно величина $\frac{W_{\theta}}{W_{\theta=0}}$ при полной антибатности должна была бы стать меньше единицы, чего не наблюдается. Но Б. П. Вейнберг

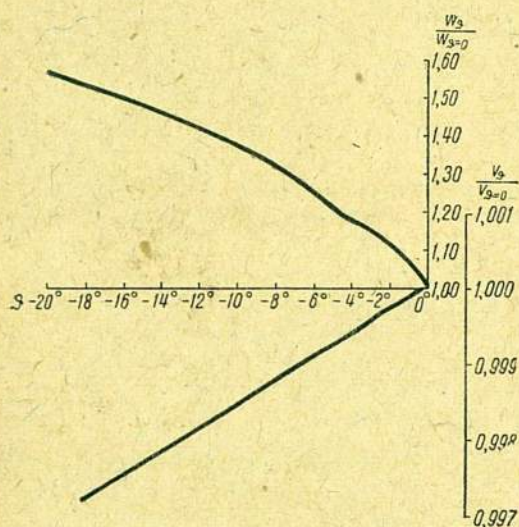


Рис. 4. Значения $\frac{W_{\theta}}{W_{\theta=0}}$ и $\frac{v_{\theta}}{v_{\theta=0}}$ при различных температурах.

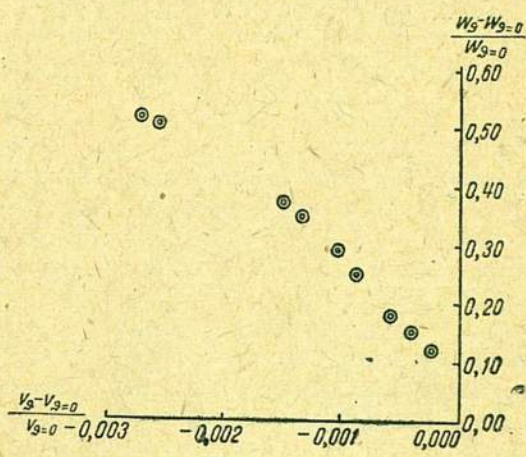


Рис. 5. Зависимости $\frac{W_{\theta} - W_{\theta=0}}{W_{\theta=0}}$ от $\frac{v_{\theta} - v_{\theta=0}}{v_{\theta=0}}$.

не имел данных по прочности при температурах, столь близких к 0° . Интересно, что кривая $\frac{W_{\theta}}{W_{\theta=0}}$ при температурах -3° и -4° имеет прогиб книзу, а кривая $\frac{v_{\theta}}{v_{\theta=0}}$ при -3° изгибается кверху. Видимо эти изгибы связаны между собой. По всей вероятности, при более детальном исследовании изгибы получились бы при одной и той же температуре.

Из вышеизложенного следует, что

$$\frac{W_{\theta}}{W_{\theta=0}} = f\left(\frac{v_{\theta}}{v_{\theta=0}}\right). \quad (28)$$

Но если построить подобный график, то кривая не пройдет через начало координат, так как обе величины при 0° будут равны единице. Чтобы

кривая прошла через начало координат, уравнение (28) следует видоизменить:

$$\frac{W_{\vartheta}}{W_{\vartheta=0}} - 1 = f \left(\frac{v_{\vartheta}}{v_{\vartheta=0}} - 1 \right),$$

откуда

$$\frac{W_{\vartheta} - W_{\vartheta=0}}{W_{\vartheta=0}} = f \left(\frac{v_{\vartheta} - v_{\vartheta=0}}{v_{\vartheta=0}} \right). \quad (29)$$

Такого рода график показан на рис. 5. Из него можно заключить, что

$$\frac{W_{\vartheta} - W_{\vartheta=0}}{W_{\vartheta=0}} = -a \left(\frac{v_{\vartheta} - v_{\vartheta=0}}{v_{\vartheta=0}} \right)^M, \quad (30)$$

где a и M некоторые постоянные, причем из рис. 5 видно, что $M < 1$.

Аналогичным путем можно найти, что

$$\frac{Z_{\vartheta} - Z_{\vartheta=0}}{Z_{\vartheta=0}} = -\alpha \left(\frac{v_{\vartheta} - v_{\vartheta=0}}{v_{\vartheta=0}} \right)^{\mu}. \quad (31)$$

Мы не находим возможным отделить константы a , M , α и μ , так как, во-первых, имеющийся материал недостаточен, во-вторых, отношение

$$\frac{Z_{\vartheta} - Z_{\vartheta=0}}{Z_{\vartheta=0}}$$

недостаточно надежно и, в-третьих, данные Б. П. Вейнберга относятся к природному пресному льду, а данные О. Peterson — ко льду из полидистиллированной воды. Кроме того, такое цифровое выражение не имело бы практического значения, так как удобнее для расчета прочности знать ее зависимость от температуры, а не от теплового расширения.

Если допустить, что выражения (30) и (31) справедливы и для морского льда (мы предполагаем, что для морского льда постоянные a , M , α и μ будут иными, чем для пресноводного, но тип формулы сохранится), то, зная, как изменяется для него отношение

$$\frac{v_{\vartheta} - v_{\vartheta=0}}{v_{\vartheta=0}},$$

можно сказать, какова будет для него зависимость прочности от температуры.

Если для пресного льда наибольшее значение

$$\frac{v_{\vartheta} - v_{\vartheta=0}}{v_{\vartheta=0}}$$

(точка наименьшей плотности льда) будет при температурах, близких к 0° , и можно считать, что с понижением температуры

$$\frac{v_{\vartheta} - v_{\vartheta=0}}{v_{\vartheta=0}}$$

уменьшается, то про морской лед этого уже сказать нельзя. О. Peterson [20] для слабо соленого льда, взятого в Балтийском море в районе

Висби,¹ дает приближенную температуру наименьшей плотности $\approx -2^{\circ},6$, а для морского льда из Каттегата² от $-12^{\circ},2$ до $-13^{\circ},2$.

На основании изложенного можно предполагать, что отношения

$$\frac{W_{\vartheta} - W_{\vartheta=0}}{W_{\vartheta=0}} \text{ и } \frac{Z_{\vartheta} - Z_{\vartheta=0}}{Z_{\vartheta=0}}$$

для морского льда будут иметь минимальное значение не при 0° , а при температуре наименьшей плотности льда. Отсюда следует, что зависимостями, найденными Б. П. Вейнбергом, а также Ф. Ф. Витманом и Н. П. Шандриковым, для морского льда пользоваться нельзя, и заключение Н. Н. Зубова: „Из этих исследований видно, что прочность морского льда увеличивается с понижением его температуры...“ справедливо только для низких температур — ниже температуры наименьшей плотности. Действительно, в приведенной Н. Н. Зубовым таблице даны прочности морского льда при температурах от -26° до -30° ([13], стр. 301, табл. 73).

Если предположить, что уравнения (30) и (31) для морского льда непригодны, то все-таки нет никаких оснований предполагать, что прочность соленого и пресного льда изменяется от температуры по одному и тому же закону.

Высказанное нами предположение подтверждается материалами по ледяному покрову Баренцова и Карского морей, приведенными у В. И. Арнольд-Алябьева [5]. Из этих материалов видно, что наименьшие значения как максимальной, так и минимальной прочности на излом наблюдаются при $\vartheta^{\circ} = 1^{\circ},0$, а не при наивысшей температуре, при которой производились наблюдения, т. е. $-0^{\circ},3$ (стр. 58, табл. 2). Правда, сам автор в эмпирической формуле, найденной на основании этих материалов:

$$W = 4,7 - 0,96 \vartheta - 0,031 \vartheta^2$$

получает наименьшие значения W при температуре таяния льда. Однако не исключена возможность, что если по упомянутым материалам построить эмпирическое уравнение, дающее наименьшие значения W при -1° , то это уравнение даст более близкие к действительности результаты, чем формула В. И. Арнольд-Алябьева. К сожалению, мы не имели возможности проверить этого, так как в указанной статье не приводятся все значения прочности, а лишь их минимальные и максимальные значения при каждой температуре.

Как уже упоминалось, В. С. Назаров [19] нашел для прочности морского льда на удар зависимость от температуры совершенно иного вида, чем зависимости, данные в табл. 2; она имеет вид кривой, плавно возрастающей с понижением температуры, но имеющей точку перегиба при $\vartheta^{\circ} = -10^{\circ}$. Автор дает для нее следующее уравнение:

$$T_d = -0,003 (\vartheta^{\circ} = 10^{\circ})^3 + 5,$$

где T_d — работа деформации.

Возможно, что наличие у кривой точки перегиба связано с тем, что В. С. Назаров имел дело с морским льдом, но так как зависимость

¹ Соленость этого льда видна из следующих цифр:

$$\rho_{\frac{0^{\circ}}{4^{\circ}}} = 1,00030 \text{ и } \text{Cl}^0_{/00} = 0,14.$$

² $\rho_{\frac{0^{\circ}}{4^{\circ}}} = 1,00534 \text{ и } \text{Cl}^0_{/00} = 2,73.$

прочности на удар от температуры для пресного льда неизвестна, то высказанное соображение остается только догадкой.

Таким образом, отношение $\frac{W_{\vartheta} - W_{\vartheta=0}}{W_{\vartheta=0}}$ является не только функцией температуры, но и функцией солености. Вопрос о правильности высказанного нами выше предположения и о цифровой зависимости прочности или температуры при различных соленостях требует детального исследования.¹

Можно представить отношение $\frac{W_{\vartheta}}{W_{\vartheta=0}}$ не как функцию $\frac{v_{\vartheta}}{v_{\vartheta=0}}$, а как функцию плотности δ_{ϑ} , так как последняя величина, также как и v_{ϑ} , изменяется в зависимости от температуры. Это изменение показано в графе 3 табл. 3.

Но если $\frac{W_{\vartheta}}{W_{\vartheta=0}}$ можно рассматривать как функцию плотности, то не подойдет ли и для этого случая уравнение (12) или (23)? При $\delta' > \delta_n$ разность $\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n}$ будет отрицательной величиной, $\left(\frac{1}{\delta^2} - \frac{1}{\delta \delta_n}\right)^{\frac{1}{2}}$ — мнимой величиной, а множитель, заключенный в скобки при W_0 в уравнении (23), будет комплексным числом. Следовательно, формула (23) непригодна для упомянутых вычислений. Применимость выражения (12) проверим вычислением. Если принять δ_n равным 0,920, как это мы делаем в п. 1, то, исходя из данных О. Petersen, находим, что плотность в 0,921 будет наблюдаться при температуре -7° , а плотность в 0,922 — при -10° . При этих плотностях по формуле (12) отношение $\frac{W}{W_0}$ должно быть 1,62 и 1,84, а из рис. 4 видно, что при температурах -7° и -10° отношение $\frac{W_{\vartheta}}{W_{\vartheta=0}}$ будет 1,29 и 1,37. Таким образом, уравнение (12) для расчета прочности в зависимости от теплового расширения неприменимо.

III. О зависимости между прочностью льда и работой ледокола

Ледокол ломает всю толщину ледяного покрова, поэтому с его работой нельзя сравнивать прочность льда на отдельных горизонтах, а следует найти какую-то среднюю прочность по вертикали. Среднее арифметическое из всех прочностей на отдельных горизонтах в данном случае не годится, так как оно будет зависеть от равномерности распределения горизонтов. Брать эти горизонты равномерно (через равные отрезки глубины) неправильно, так как часто ледяной покров имеет слоистое строение, и для более полной картины желательно охватить по возможности все слои, распределение которых может быть далеко не равномерным. Следовательно, самое правильное будет взять среднюю взвешенную прочность по вертикали W_m , которую можно выразить следующей формулой:

$$W_m = \frac{\int_0^{\varepsilon} W d\varepsilon}{\varepsilon}, \quad (32)$$

где ε — толщина ледяного покрова.

Величину W_m можно отыскать графически. Построив график вертикального распределения прочности, можно планиметрированием найти

¹ Следует учесть, что здесь мы рассматриваем влияние температуры на временное сопротивление льда, а не на сопротивление его движению корабля. Зависимость последнего от температуры может быть совершенно иной, так как с увеличением температуры увеличивается вязкость ледяного покрова.

площадь, ограниченную с одной стороны некоторой величиной прочности, принятой при планиметрировании за нулевую (W'), с другой стороны — кривой, а сверху и снизу — верхней и нижней поверхностями льда. Тогда W_m отыскивается по формуле:

$$W_m = W' + \frac{S}{\varepsilon},$$

где S — площадь, полученная планиметрированием.

Обычно кривую нельзя бывает довести до верхней и нижней поверхностей; тогда можно планиметрировать ту часть, для которой она имеется, и разделить величину S на разность между глубиной верхнего и нижнего конца кривой.

Интеграл прочности по вертикали можно найти и путем приближенных подсчетов. Этот подсчет лучше всего производить следующим способом. Пусть в некоторой льдине взяты образцы льда на горизонтах $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$.

Так как образец имеет некоторую толщину $\Delta\varepsilon$, то его горизонт следует отметить двумя величинами: $\varepsilon'_1, \varepsilon''_1, \varepsilon'_2, \varepsilon''_2, \dots, \varepsilon'_n, \varepsilon''_n$, где $\varepsilon'_1, \varepsilon'_2, \dots, \varepsilon'_n$ — глубины верхних краев брусков, а $\varepsilon''_1, \varepsilon''_2, \dots, \varepsilon''_n$ — глубины нижних краев. Пусть прочности на горизонтах $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ будут W_1, W_2, \dots, W_n ; тогда для промежуточных слоев

$$\varepsilon'_2 - \varepsilon''_1, \varepsilon'_3 - \varepsilon''_2, \dots, \varepsilon'_n - \varepsilon''_{n-1}$$

найдем средние прочности

$$\frac{W_1 + W_2}{2}, \frac{W_2 + W_3}{2}, \dots, \frac{W_{n-1} + W_n}{2}.$$

Возьмем произведения этих прочностей, а также произведения W_1, W_2, \dots, W_n на соответствующие им отрезки ε и просуммируем полученные произведения:

$$\sum_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_n} W \Delta\varepsilon = W_1(\varepsilon'_1 - \varepsilon'_1) + \frac{W_1 + W_2}{2}(\varepsilon'_2 - \varepsilon'_1) + W_2(\varepsilon'_3 - \varepsilon'_2) + \frac{W_2 + W_3}{2}(\varepsilon'_3 - \varepsilon'_2) + \\ + W_3(\varepsilon'_3 - \varepsilon'_3) + \dots + \frac{W_{n-1} + W_n}{2}(\varepsilon'_n - \varepsilon'_{n-1}) + W_n(\varepsilon'_n - \varepsilon'_n)$$

W_m находим из уравнения:

$$W_m = \frac{\sum_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_n} W \Delta\varepsilon}{\varepsilon_n - \varepsilon_1}. \quad (33)$$

Против сравнения работы ледокола с величиной W_m можно возразить, что часто лед ломается не в месте приложения силы, а в месте его наименьшей прочности. Если в каждом горизонте прочность определяется не в одном, а в нескольких брусках, то по приведенным методам можно найти среднее из минимальных (для каждого горизонта) прочностей и сравнивать с работой ледокола уже эту величину. Но сравнение W_m также представляет большой интерес, так как минимумы прочностей могут вовсе не совпадать по вертикали и разлом может идти совсем не по ним.

Насколько известно, в литературе имеются две формулы, выражающие зависимость работы ледокола от толщины ледяного покрова.¹ Первая из них принадлежит известному кораблестроителю Р. И. Рунебергу

¹ Формула Кари, приведенная у Ю. А. Шиманского [26], нам не внушает доверия.

(построившему п/х „Лена“, который участвовал в экспедиции Норденшельда), вторая — инж. В. И. Афонасьеву.

Р. И. Рунеберг [22] дает такую форму зависимости предельной толщины разламываемого льда от свойств ледокола:

$$\varepsilon = C \sqrt{\frac{P}{\sqrt{b}}}, \quad (34)$$

где ε — толщина ледяного покрова;

P — вертикальное усилие, действующее на нос судна;

b — ширина судна;

C — коэффициент пропорциональности.

Вертикальное усилие P автор рассчитывает по формуле:

$$P = \frac{12\,375 \text{ INP} (\cos \varphi \cdot \cos \beta + F \sin \varphi)}{N\Lambda (\sin \varphi \cdot \cos \beta + F \cos \varphi)}, \quad (35)$$

где INP — индикаторная мощность машины;

N — число оборотов винта в минуту;

Λ — шаг винта;

φ — угол между средним наклоном батоксов и горизонтальной поверхностью;

β — угол между горизонтальной поверхностью и средним сечением, взятым перпендикулярно батоксам, и

F — коэффициент трения.

В формуле (35) величина P выражена в английских фунтах и λ в футах. Если выразить их в килограммах и метрах, то вместо коэффициента 12 375 следует поставить 1858.

Инж. В. И. Афонасьев предложил другую, более простую формулу:

$$\text{INP} = 2,5 U \varepsilon^2, \quad (36)$$

где U — скорость хода в узлах. Остальные обозначения те же.

Здесь толщина ε выражена в дюймах; если ее выразить в сантиметрах то коэффициент будет равен 0,4.

Как Р. И. Рунеберг, так и В. И. Афонасьев дают в своих формулах эмпирические коэффициенты C и 2,5, считая их постоянными. Но можно предположить, что они будут в различном ледяном покрове различными.² Рассмотрим их как функцию W_m . Но сперва разберем достоинства и недостатки приведенных формул.

Уравнение (34) Р. И. Рунеберг получает из выражения:

$$P = c \varepsilon^2 f(b), \quad (37)$$

где c — коэффициент пропорциональности, причем величина $c = \frac{1}{C^2}$ выведена им теоретически.

Далее он пишет: „Сравнивая действие существующих ледоколов, имеем: $f(b) = \sqrt{b}$ и $C = 0,18$ для осеннего льда“. Проверим справедливость

¹ Приведена С. О. Макаровым [17]. Самим автором опубликована в газете „Котлин“ [7]. Здесь мы используем только наиболее простую из формул В. И. Афонасьева; для более сложных у нас не было необходимых данных.

² Подобное предположение высказал еще сам В. И. Афонасьев [8], указавший на то, что множитель 2,5 выведен для пресного льда, а для морского он будет несколько ниже.

равенства $f(b) = \sqrt{b}$. Для этого в уравнении (37) перенесем ε^2 в левую часть, тогда

$$\frac{P}{\varepsilon^2} = cf(b). \quad (38)$$

Для четырех ледоколов из числа рассматриваемых Р. И. Рунебергом в его книге он дает толщину разламываемого ими льда; величины P и b для них известны. Отсюда находим величины $\frac{P}{\varepsilon^2}$ и откладываем их по ординате рис. 6 при соответствующих значениях b , отложенных по абсциссе.¹ Как видно из графика, зависимости $\frac{P}{\varepsilon^2} = c\sqrt{b}$ не получается.

Разброс точек на рис. 6, видимо, вызван тем, что коэффициент c не является вполне постоянной величиной.

Проверим, находится ли величина $\frac{P}{\varepsilon^2}$ в какой-либо степенной зависимости от величины b . Обозначим эту предполагаемую степень через m . Тогда уравнение (37) примет вид:

$$P = c\varepsilon^2 b^m,$$

откуда

$$\lg P = \lg c + 2 \lg \varepsilon + m \lg b. \quad (39)$$

Допускаем, как это делает автор, что c — величина постоянная.²

Находим константы m , $\lg c$ и c с помощью двух вспомогательных формул, полученных из выражения (39), по способу наименьших квадратов:

$$m = \frac{\sum \lg P \lg b - \lg c \sum \lg b - 2 \sum \lg \varepsilon \lg b}{\sum (\lg b)^2} \quad (40)$$

и

$$\lg c = \frac{\sum \lg P - 2 \sum \lg \varepsilon - m \sum \lg b}{n}, \quad (41)$$

где n — число слагаемых.

Вычисления по этим формулам сведены в табл. 4.³

Подставляя полученные величины в формулы (40) и (41) и решая их как систему уравнений с двумя неизвестными, находим $m = 0,000$, $\lg c = -2,089$ и $c = 0,012$, т. е. никакой зависимости между $\frac{P}{\varepsilon^2}$ и b не обнаруживается. Если подставить сюда имеющиеся у нас данные по ледоколу „Murtaja“ и одному из советских ледоколов, то также не получится степенной зависимости. Таким образом уравнение (34) упрощается:

$$\varepsilon = c\sqrt{P}. \quad (42)$$

¹ Для л/к „Murtaja“. Величина ε заимствована у Н. Н. Шемана [24], остальные величины — у Р. И. Рунеберга.

² Видимо данные для л/к „Murtaja“ относятся ко льду с совершенно иной прочностью, так как для него отношение $\frac{P}{\varepsilon^2}$ значительно меньше, чем для 4 остальных ледоколов (самая нижняя точка на рис. 6). Поэтому, при подсчете c данные л/к „Murtaja“ не приняты во внимание.

³ Эти суда работали в Балтийском море, и, повидимому, данные Р. И. Рунеберга относятся к более или менее однородному льду, для которого с некоторым приближением можно говорить о постоянстве c .

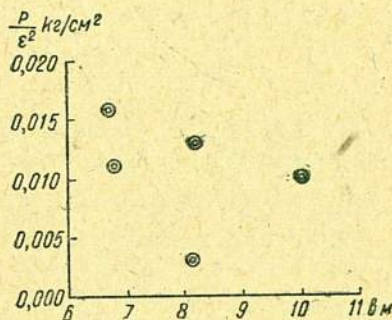


Рис. 6. Зависимость $\frac{P}{\varepsilon^2}$ от ширины ледокола.

Таблица 4

Название судна	$\frac{P}{b}$	$\lg P$	$\frac{\epsilon}{b}$	$\lg \epsilon$	$\frac{b}{b}$	$\lg b$	$\lg P \lg b$	$\lg \epsilon \lg b$	$(\lg b)^2$
Express	1,70	0,2304	12,5	1,0969	6,8	0,8195	0,1888	0,8989	0,6716
Isbrytaren	4,17	0,6201	20	1,3010	10,0	1,0000	0,6201	1,3010	1,0000
Oland	2,43	0,3855	12,5	1,0969	6,7	0,8129	0,3141	0,8910	0,6610
Starcodder	5,13	0,7101	20	1,3010	8,1	0,9085	0,6450	1,1820	0,8250
Σ	—	1,9472	—	4,7958	—	3,5409	1,7670	4,2729	3,1576
2Σ	—	—	—	9,5916	—	—	—	8,5458	—

Теоретически толщина разламываемого льда ϵ должна находиться в обратной зависимости от ширины судна b , следовательно отношение $\frac{P}{\epsilon^2}$ должно находиться в прямой зависимости от b . Но на основании зависимости, изображенной на рис. 6, можно скорее предположить обратную зависимость, чем какую-либо прямую. Поэтому мы сочли более правильным исключить из формулы Р. И. Рунеберга элемент b , несмотря на то, что уравнение, учитывающее ширину судна, было бы более совершенным. Толщина разламываемого льда при прочих равных условиях должна зависеть от размеров ледокола. Правда, должна существовать зависимость не только от одной ширины, а и от других измерений судна.

Заметим, что В. И. Афонасьев [8], давая несколько различных формул, характеризующих работу ледокола, в качестве конечного уравнения получает выражение, совпадающее с формулой (42).

Уже после обработки приведенного здесь материала нам стала известна работа К. А. Москатова [18], в которой автор дает следующую формулу для посадки самолетов на пресноводный лед:

$$\epsilon = 3,1 \sqrt{P_{\text{пол.}}}$$

(где $P_{\text{пол.}}$ — полетный вес самолета) и для посадки на морской лед:

$$\epsilon = 3,1 \sqrt[3]{P_{\text{пол.}}}$$

Эти формулы совершенно однотипны с уравнением (42). Во вторую из этих формул введен множитель $\sqrt[3]{3}$, так как прочность морского льда на излом приблизительно в три раза меньше прочности пресноводного. Следовательно, закономерность, найденная К. А. Москатовым, учитывает прочность льда.

Для четырех судов, перечисленных в табл. 4, предельная толщина разламываемого льда, исходя из уравнения (42), будет равна:

$$\epsilon = \frac{1}{\sqrt{0,012}} \sqrt{P} = 9,1 \sqrt{P}. \quad (43)$$

Пользуясь этой формулой, найдем толщины льда, которые должны разламываться ледоколами, и сравним с фактическими толщинами и толщинами, вычисленными Р. И. Рунебергом по уравнению (34). Данные эти приведены в табл. 5.

Таблица 5

Название судна	Фактическая толщина	По уравнению (34)	По уравнению (43)
Express	12 ₅	12 ₇₅	20
Isbrytaren	20	17 ₅	18 ₅
Oland	12 ₅	15	14
Starkodder	20	21	20 ₅

Из табл. 5 видно, что в трех случаях из четырех наши данные ближе к фактическим величинам, чем данные упомянутого автора, отчего формулу (42) можно принять в качестве первого приближения. Почему Р. И. Рунеберг заключил, что $f(b)=\sqrt{b}$, сказать трудно; видимо здесь была ошибка. Но несмотря на это, формула Р. И. Рунеберга является наиболее полной и очень ценной по идее.

Уравнение (35) не применимо к ледоколам, снабженным носовым винтом или ломающим лед с помощью водного балласта. Но аналогичные уравнения можно вывести и для этих судов; однако эта задача относится к области теории корабля и здесь не рассматривается.

Коэффициент трения F , входящий в формулу (35), также должен зависеть от типа ледяного покрова, а, следовательно, от него должна зависеть и вертикальная сила P . Р. И. Рунеберг принимает его постоянным и равным 0,05. Посмотрим, в какой мере оно допустимо. В. И. Арнольд-Алябьев [6] дает следующие величины коэффициента трения льда по гладкой и окрашенной судовой стали при движении, определенные на станке Кулона:

Таблица 6

Род трения	Невский лед	Балтийский лед	Карский лед	Карский лед
Мокрое	0,10—0,15	0,10—0,15	0,10—0,20	0,20
Сухое		0,03—0,05		
	Гладкая сталь			Окрашенная сталь

Как видно из этой таблицы, сухое и мокрое трения могут изменяться в 1,5—2 раза. При различных типах льда оно почти одинаково. Для зимнего льда, когда преобладает сухое трение, величина F , принятая Р. И. Рунебергом (0,05), близка к действительности — к максимальному коэффициенту для гладкой стали. Зимой для гладкой стали она будет даже несколько преувеличенной, так как в табл. 6 дана величина сухого трения от 0,03 до 0,05; кроме того, как доказывает В. И. Арнольд-Алябьев, при больших нагрузках на лед, каковые развивает ледокол,¹ коэффициент трения будет еще меньше. Каково трение зимнего льда об окрашенную сталь — неизвестно, но, по аналогии с мокрым трением, можно предположить, что оно будет немногим больше 0,05. В тающем льду, когда имеет место мокрое трение, нельзя принимать $F=0,05$; в этом случае в качестве средних величин лучше принять 0,15 для гладкой стали и

¹ Цифры, приведенные в табл. 6, относятся к нагрузкам только в несколько граммов.

0,20 для окрашенной. Все это вносит некоторую ошибку в величину P , если коэффициент трения F неизвестен и если его принять равным 0,05 для зимы и 0,15—0,20 для лета. Хотя при тех изменениях F , какие приведены в табл. 6, P будет изменяться мало, все же вертикальное усилие P при F , принятом за 0,05, 0,15 или 0,20, следует считать несколько условной величиной.

Величина вертикальной силы P зависит еще от осадки судна и от его дифферента, так как средний наклон батоксов φ и перпендикулярных к ним сечений β будет разным на различных ватерлиниях и при различных дифферентах. Обе эти величины (φ и β), как видно из уравнения (35), входят в величину P .

Имея теоретический чертеж ледокола и зная осадку его носа и дифферент, величины φ и β можно отыскать без особого труда.

Формула В. И. Афонасьева по сравнению с формулой Р. И. Рунберга обладает многими недостатками; например, в ней не учитываются ледоколы, работающие балластными цистернами, а также размеры и форма обводов судна. Но, с другой стороны, ее простота делает ее более удобной.

Главнейшим ее недостатком следует признать следующий. По уравнению (36), при увеличении толщины льда ϵ до значительных пределов, скорость хода ледокола никогда не обратится в нуль, т. е. формула не дает предельной толщины льда, разламываемой данным ледоколом. С другой стороны, если толщина льда обратится в нуль, то скорость судна (по чистой воде) возрастет до бесконечности. Следовательно, формула должна давать результаты близкие к действительности только в определенных пределах значений ϵ .

Для ледоколов, снабженных носовым винтом, коэффициент пропорциональности должен быть иным, чем для судов без носового винта.

В уравнении (36) эмпирический коэффициент 2,5 можно заменить буквенным обозначением:

$$IHP = KU\epsilon^2. \quad (44)$$

Рассмотрим величины K и c , как функции W_m . Имеющиеся у нас данные по двум ледоколам, работавшим в советских водах, дают для зимнего льда для обоих судов $K \approx 0,6$, при толщине ϵ , выраженной в сантиметрах. Один из этих ледоколов был снабжен носовым винтом, но для обоих судов значения K получились близкими. Правда, данные о толщине разламываемого ими льда и об их скорости при этом были получены из опросных сведений и поэтому не вполне надежны. Для водоема, где работали эти ледоколы, величина W_m зимнего льда близка к 28 кг/см². Отложим эту точку на рис. 7 (точка 1).

С. О. Макаров [17] для л/к „Ермак“ установил, что при полной работе всех четырех машин (в то время „Ермак“ имел носовой винт) скорость во льду толщиной в 2 фута достигала 6—7 узлов. Примем: $\epsilon = 60$ см, $U = 6,5$ миль/час и $IHP = 10\,559$ (по Макарову), откуда $K = 0,45$. Прочность льда, найденная при пробном плавании „Ермака“, изменяется в пределах от 4,9 до 14,8 кг/см², $W_m \approx 9$ кг/см² (на рис. 7 точка 2).

Н. Н. Шеман [25] указывает, что л/к „Murtaja“ близ Гельсингфорса во льду толщиной в 19 дюймов, без снегового покрова, двигался со скоростью 1 узла. Причем для „Murtaja“ $\epsilon = 48$ см, $U = 1$, $IHP = 1263$ (по Шеману). Тогда $K = 0,56$. Для льда Финского залива, по данным В. И. Арнольд-Алябьева [2], большинство значений прочности на излом лежит между 10 кг/см² и 20 кг/см². Примем $W_m \approx 15$ км/см² (на рис. 7 точка 3).

Иессен [15] при испытании л/к „Надежный“ близ Балтийского порта в феврале 1897 г. отметил, что во льду толщиной в 1 фут судно развивало скорость в 8 узлов. При этом индикатор показывал понижение мощности против той, которая наблюдалась при движении по чистой воде (с 3000 IHP до 2272 IHP); понижались и обороты винта. Примем: $\epsilon=30$ см, $U=8$ и IHP=2272; тогда $K=0,31$. При испытании того же ледокола близ Твермине, он во льду толщиной в 25 дюймов при снеговом покрове 10 см (4 дюйма) двигался со скоростью 3,3 узла. Показания индикатора при этом неизвестны. Примем: IHP \approx 3000, $\epsilon=62$ см, $U=3,3$, тогда $K=0,31$. Как видим, в обоих случаях значения K совпадают. Примем так же, как и в предыдущем случае, $W_m \approx 15$ кг/см² (на рис. 7 точка 4).

К сожалению, на этом исчерпываются имеющиеся у нас материалы, позволяющие сравнить величины K и W_m . В. И. Арнольд-Алябьев [4] дает прочность льда на излом, его толщину и скорость хода в этом льду л/к „Красин“ и л/п „Малыгин“. Но, к сожалению, скорости им даны не фактические (отношение длины фактического пути ко времени), а как отношение ко времени проекции фактического пути на локсодромию. Значения K , вычисленные с помощью этих величин, получаются повышенными и совершенно не сравнимыми с другими имеющимися у нас материалами.

Рассмотрим еще несколько значений K . В. И. Афонасьев [7] указывает, что ледокол-паром „St. Marie“ (3800 IHP) в 38-сантиметровом (15-дюймовом) льду в озере Мичиган двигался со скоростью $5\frac{3}{4}$ узла, откуда $K=0,46$. Ледокол имел носовой винт. Прочности льда озера Мичиган нам неизвестны, но интересно, что для этого ледокола значение K довольно близко к величине K для „Ермака“.

Как уже отмечалось выше, формула инж. В. И. Афонасьева неприемима при малых толщинах льда; тогда K получается преувеличенным. Так, например, по данным П. Римского-Корсакова [21], л/к „Добрыня Никитич“ в 8—10-сантиметровом (3—4-дюймовом) льду развивает скорость в 8—9 узлов. Принимая $\epsilon=9$ см, $U=8$ и IHP=4000, получаем $K=5,5$. То же наблюдается и с колесным ледоколом-паромом „Tarster“ (1500 IHP), который во льду толщиной $\epsilon=12$ см (5 дюймов) развивал скорость в 10 узлов. При этом K получается больше 1.

По четырем точкам, отложенным на рис. 8, трудно судить о зависимости между K и W_m . Попробуем разрешить этот вопрос теоретически. Из уравнения (44) имеем:

$$K = \frac{\text{IHP}}{U\epsilon^2} \quad (45)$$

Установим размерность отдельных частей уравнения (45). IHP измеряется в единицах мощности, следовательно

$$\begin{aligned} [\text{IHP}] &= \left[\frac{\text{энергия}}{\text{время}} \right] = \left[\frac{\text{сила} \cdot \text{расстояние}}{\text{время}} \right] = \left[\frac{\text{масса} \cdot \text{ускорение} \cdot \text{расстояние}}{\text{время}} \right] = \\ &= \left[\frac{\text{масса} \cdot \text{расстояние}^2}{\text{время}^3} \right]. \end{aligned} \quad (46)$$

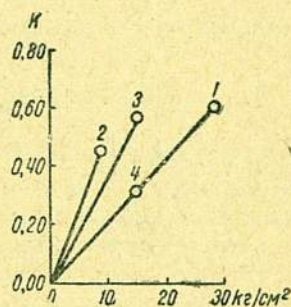


Рис. 7. Зависимость множителя K от прочности.

U измеряется в единицах скорости:

$$[U] = \left[\frac{\text{расстояние}}{\text{время}} \right] \quad (47)$$

$$[\varepsilon] = [\text{расстояние}]. \quad (48)$$

Подставляя уравнения (46), (47) и (48) в (45), получаем:

$$[K] = \left[\frac{\text{масса}}{\text{время}^2 \cdot \text{расстояние}} \right]. \quad (49)$$

Прочность W_m измеряется в кг/см^2 , т. е.

$$[W_m] = \left[\frac{\text{сила}}{\text{расстояние}^2} \right] = \left[\frac{\text{масса} \cdot \text{ускорение}}{\text{расстояние}^2} \right] = \left[\frac{\text{масса}}{\text{время}^2 \cdot \text{расстояние}} \right]. \quad (50)$$

Из сопоставления уравнений (49) и (50) видно, что K измеряется в тех же единицах, что и прочность. Следовательно, между этими величинами должна наблюдаться зависимость первой степени, т. е. точки на рис. 7 можно соединить прямой.

Строго говоря, соединять прямой можно только те точки, которые относятся к одному и тому же судну, так как формула (36) не учитывает размеров и формы обводов корпуса. Возникает вопрос: пройдут ли эти прямые через начало координат? У П. Римского-Корсакова [21] сказано, что л/к „Надежный“ в весеннем льду толщиной в 1,0—1,4 м за 12 часов прошел расстояние в 2 мили. Принимая $\varepsilon \approx 120$ см, $U = \frac{1}{6}$ узла, и $\text{ИНР} = 3000$, имеем $K = 0,012$. Если, судя по данным Иессена, учесть, что л/к „Надежный“ во льдах снижает мощность, то K получится еще меньше. Нам неизвестна прочность этого льда, но, судя по малому значению K и по тому, что лед был весенний, можно предположить, что прочность его была мала. Отсюда можно заключить, что прямые пройдут очень близко от начала координат. Но поскольку нет полной уверенности, что при $W_m = 0$ K не будет равно некоторой величине K_0 , то изобразим зависимость между K и W_m уравнением общего вида:

$$K = K_0 + \sigma_k W_m, \quad (51)$$

где σ_k — коэффициент пропорциональности.

Попробуем установить зависимость между c и W_m . Удобнее сравнивать прочность с коэффициентом c , а не S , так как последняя величина должна находиться в обратной зависимости от прочности. Как видно из уравнения (42), с увеличением S , при одной и той же толщине льда ε , вертикальное усилие P должно уменьшаться, а при большой прочности, P должно быть больше. Коэффициент же c должен быть связан с P прямой зависимостью. Это видно из уравнения (37). Следовательно, c должно быть в прямой зависимости и от W_m .

Доказав, что $\frac{P}{\varepsilon^2}$ не являются функцией от ширины судна b , из уравнения (37) получим:

$$P = c\varepsilon^2, \quad (52)$$

откуда

$$c = \frac{P}{\varepsilon^2}. \quad (53)$$

С помощью этой формулы, по имеющимся данным, вычисляем c для одного из упомянутых выше советских ледоколов; оно оказывается равным 0,0031. Как уже упоминалось выше, W_m зимнего льда для того водоема, где плавает этот ледокол, приблизительно равно 28 кг/см^2 . Для л/к „Murtaja“ получаем $c = 0,0024$. Выше было принято для Финского залива $W_m \approx 15 \text{ кг/см}^2$. Отложим обе пары значений W_m и c на рис. 8. К сожалению, в данном случае нельзя использовать даже материалы по л/к „Ермак“, так как он был снабжен носовым винтом и балластными цистернами, отчего для него нельзя рассчитывать P по формуле (35). Для остальных ледоколов нам или неизвестна вертикальная сила P , или прочность льда, или и то и другое.

По двум точкам нельзя судить о характере зависимости между c и W_m . Попробуем установить ее по тому же методу, как мы это делали для величины K .

Найдем размерность c , но предварительно установим размерность P и ε . Вертикальная сила P выражается в единицах силы:

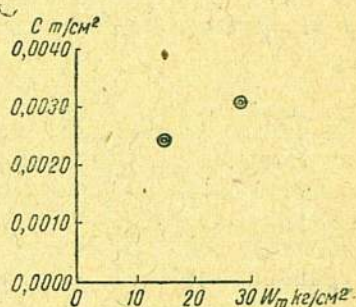


Рис. 8. Зависимость множителя c от прочности.

$$[P] = [\text{сила}] = [\text{масса} \cdot \text{ускорение}] = \left[\frac{\text{масса} \cdot \text{расстояние}}{\text{время}^2} \right]. \quad (54)$$

$$[\varepsilon] = [\text{расстояние}]. \quad (48)$$

Из подстановки выражений (54) и (48) в (53) получаем:

$$[c] = \left[\frac{\text{масса}}{\text{время}^2 \cdot \text{расстояние}} \right]. \quad (55)$$

Сличая формулы (50) и (55), видим, что c имеет ту же размерность, что и прочность. Следовательно, между c и W_m должна наблюдаться линейная зависимость. Пройдет ли прямая через начало координат или нет — в настоящее время сказать трудно. Это необходимо установить на практике. Из сличения вышеприведенных формул К. А. Москатова видно, что аналогичная прямая там должна пройти через начало координат, так как, при уменьшении прочности втрое, он увеличивает коэффициент при $\sqrt{P_{\text{пол.}}}$ в $\sqrt{3}$ раза. Но это действие автор не обосновывает. Нам кажется вполне вероятным, что график пройдет через начало координат, но ввиду того, что это является только догадкой, правильнее до проверки представить зависимость c от W_m в общем виде:

$$c = c_0 + \sigma_c W_m, \quad (56)$$

где σ_c — коэффициент пропорциональности.

Следует учесть, что для различных судов наклон прямой будет различным, так как формулы (42) и (52) являются только первым приближением: они, после исключения b , совершенно не учитывают размеров судна. А при различных соотношениях размеров с мощностью наклон должен изменяться.

Подставив найденное значение K в уравнения (44), получим:

$$\text{IHP} = (K_0 + \sigma_k W_m) U \varepsilon^2. \quad (57)$$

Это выражение дает индикаторную мощность при заданных скоростях судна, толщине и прочности льда. Оно может быть полезно при проекти-

ровании ледоколов. Рассмотрим другой случай, когда требуется определить скорость хода ледокола с известной мощностью ИНР; тогда:

$$U = \frac{\text{ИНР}}{(K_0 + \sigma_k W_m) \epsilon^2}. \quad (58)$$

Эта формула может пригодиться при эксплуатации ледокольного флота. Подставляя уравнение (58) в (52), получим:

$$P = (c_0 + \sigma_c W_m) \epsilon^2. \quad (59)$$

Формулы (57), (58) и (59) учитывают толщину льда ϵ как уже известную величину. При проектировании обычно берется наибольшее возможное значение ϵ . Но ϵ (для того времени, когда лед нарастает) можно предсказать заранее, с некоторым приближением, имея прогноз температуры воздуха. По закону Стефана ϵ^2 в первом приближении выражается уравнением:

$$\epsilon^2 = 2 \frac{k}{\lambda \delta} \int_0^t \theta dt, \quad (60)$$

где k — коэффициент теплопроводности льда;
 λ — скрытая теплота плавления льда;
 δ — его плотность;
 θ — разность между температурой замерзания и температурой воздуха (в первом приближении);
 t — время.

Для практических целей мы видоизменили закон Стефана следующим образом [23]:

$$\epsilon^2 = 2 X_m' \int_0^t \theta \Delta t, \quad (61)$$

где X_m' — среднее многолетнее из коэффициентов скорости роста льда, характерное для данной точки.

Счет времени ведется с момента замерзания.

Подстановка формулы (61) в (57), (58) и (59) дает:

$$\text{ИНР} = 2 (K_0 + \sigma_k W_m) U X_m' \int_0^t \theta \Delta t, \quad (62)$$

$$U = \frac{0,5 \text{ ИНР}}{(K_0 + \sigma_k W_m) X_m' \int_0^t \theta \Delta t} \quad (63)$$

и

$$P = 2 (c_0 + \sigma_c W_m) X_m' \int_0^t \theta \Delta t. \quad (64)$$

Уравнение (63) дает скорость ледокола в различные моменты зимы. Что же касается формул (62) и (64), то они могут показать, до какого момента можно проводить ледокольные операции с помощью маломощных ледоколов и с какого момента следует вводить в строй более мощные ледоколы (при этом, конечно, следует ввести некоторую поправку на торосистый лед). Таким образом, все эти уравнения могут пригодиться в деле эксплуатации ледокольного флота. Правда, в настоящий момент еще нельзя считать входящие в них величины точно установленными. Но

надо полагать, что этим вопросом заинтересуются научные круги и он в ближайшее время будет разрешен, тем более что для народного хозяйства нашей страны вопрос этот имеет большую актуальность.

Выводы

1. Прочность льда находится в обратной зависимости от полостности, а, следовательно, в прямой зависимости от удельного веса льда.

2. Для зимнего льда, когда можно допустить, что все полости сферической формы, теоретическая зависимость прочности от полостности и удельного веса выражается формулами (9), (12), (16) и (17). Для тающего льда, когда полостность имеет вид сквозных канальцев, теоретическая зависимость прочности от полостности и удельного веса выражается уравнениями (22), (23), (26) и (27). При выводе всех этих формул сделаны некоторые допущения.

3. Формулы, выражающие зависимость прочности на излом (на изгиб) от полостности и удельного веса, подтверждаются эмпирическими данными, но для проверки всех уравнений требуется больше фактического материала.

4. На основании имеющихся данных можно предполагать, что в морском льду даже зимой чаще встречается полостность в виде вертикальных канальцев, а не в виде сфер.

5. В ряде случаев прочность бесполостного льда на излом W_0 изменяется сравнительно мало. Для этих случаев применение найденных выражений (9), (12), (22) и (27) на практике возможно, хотя и с некоторой погрешностью.

6. Прочность льда функционально связана с температурой через тепловое расширение льда.

7. Тепловое расширение морского льда иное, чем для пресного льда, поэтому зависимости прочности от температуры, найденные Б. П. Вейнбергом, Ф. Ф. Витманом и Н. П. Шандриковым, для морского льда неприменимы.

8. Формула Р. И. Рунеберга очень ценна по подходу, но выведенная им зависимость величины $\frac{P}{\epsilon^2}$ от ширины ледокола, судя по эмпирическим данным, не соответствует действительности.

9. В качестве первого приближения, вместо формулы Р. И. Рунеберга, можно пользоваться уравнением (42), но оно обладает тем недостатком, что не учитывает размеров судна.

10. Коэффициент трения льда не является постоянной величиной, и его изменения вносят в уравнение (35) некоторую, правда незначительную, ошибку.

11. Формула В. И. Афонасьева удобна благодаря своей простоте, но она дает результаты, близкие к действительности не при всех значениях толщины ледяного покрова.

12. Коэффициенты пропорциональности K и c , входящие в формулу В. И. Афонасьева и в видоизмененную формулу Р. И. Рунеберга, не являются постоянными величинами и зависят от прочности льда. Эта зависимость выражается формулами (51) и (56).

13. Для пользования выражениями (51) и (56) необходимо определить на практике входящие в них константы.

14. Уравнения (62), (63) и (64), учитывающие изменение толщины льда в течение зимы, могут оказаться полезными в деле эксплуатации ледокольного флота.

В заключение считаю своим долгом выразить благодарность Б. Н. Форшу за ценные советы, касающиеся математической обработки материала, инж. А. И. Дубравину за ознакомление с формулой В. И. Афонасьева, инж. А. А. Овчинникову и капитанам М. П. Симонову и П. И. Баяринцеву за сообщение ценных сведений о работе ледоколов.

ЛИТЕРАТУРА

(Номер источника в тексте заключен в прямые скобки)

1. Арнольд-Алябьев В. И., Ледовые условия Балтийского моря и их изучение, Труды Ленинградского отделения Всесоюзного инженерно-технического о-ва водного транспорта, т. II—III, Л., 1938.
2. Арнольд-Алябьев В. И., Льды Финского залива по данным исследований с советских ледоколов за период 1922—1932 гг., Доклады IV Гидрологической конференции Балтийских стран, т. III, изд. ГГИ и НКТП, Л., 1933.
3. Арнольд-Алябьев В. И., Методы определения плотности и рыхлости льда в экспедиционной обстановке, Труды Комиссии по изучению вечной мерзлоты, т. III, Изд. Акад. наук СССР, Л., 1934.
4. Арнольд-Алябьев В. И., Мощность, строение и полостность льда Карского моря по данным экспедиции на л/п „Малыгин“ в 1934 г., Труды Аркт. инст., т. 110, Изд. Главсевморпути, Л., 1938.
5. Арнольд-Алябьев В. И., О прочности льда Баренцова и Карского морей, „Проблемы Арктики“, № 6, Изд. Главсевморпути, Л., 1939.
6. Арнольд-Алябьев В. И., Опыты по внешнему трению льда, Журнал технической физики, т. IV, вып. 8, 1937.
7. Афонасьев В. И., Ледоколы, газета „Котлин“ за 1897 г., № 49 (318), Кронштадт.
8. Афонасьев В. И., Прохождение толстых льдов, газета „Котлин“ за 1897 г., №№ 105 (374), 120 (389) и 122 (391), Кронштадт.
9. Бруевич С. В., Методика химической океанографии, Изд. ЦУЕГМС, М., 1933.
10. Вейнберг Б. П., Влияние температуры на механическое сопротивление морского льда, Известия Главной геофизической обсерватории, № 2, Л., 1929.
11. Витман Ф. Ф. и Шандриков Н. П., Некоторые исследования механической прочности льда, Труды Комиссии по изучению вечной мерзлоты, т. III, Изд. Акад. наук СССР, Л., 1934.
12. Зубов Н. Н., Морские воды и льды, Гидрометиздат, М., 1938.
13. Зубов Н. Н., Физические свойства морского льда, Гидрометиздат, Л., 1931.
14. Иванов Н. И., Краткий учебник сопротивления материалов, изд. второе, ОНТИ, М.—Л., 1937.
15. Иессен, Пароход-ледокол „Надежный“, Морской сборник за 1897 г., № 6, СПб.
16. Landolt-Wörnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen, 5 Auflage, 2 Ergänzungsband, 1 Teil, Verlag v. J. Springer, Berlin, 1931.
17. Макаров С. О., „Ермак“ во льдах, СПб., 1901.
18. Москатов К. А., О посадке самолетов на лед, Труды Комиссии по изучению вечной мерзлоты, т. III, изд. Акад. наук СССР, Л., 1934.
19. Назаров В. С., К изучению свойств морского льда, там же.
20. Peterson Otto, On the Properties of Water and ice, Vega-expedition, Vetenskapliga Jakttagelser, Bd. II, Stockholm, 1883.
21. Римский-Корсаков П., Незамерзающий порт на Дальнем Востоке, „Записки по гидрографии“, т. XLIX, Л., 1925.
22. Рунеберг Р. И., О пароходах для зимнего плавания и о ледоколах, перевод с английского А. Нюберг, Спб., 1890.
23. Цуриков В. Л., О нарастании морского льда на примере Кандалакшского залива, „Северный морской путь“, т. XIV, Л., 1939.
24. Шеман Н. Н., О ледоколах, Морской сборник за 1894 г., № 12, СПб.
25. Шеман Н. Н., О ледоколе „Murtaja“, Морской сборник за 1896 г., № 6, СПб.
26. Шиманский Ю. А., Условные измерители ледокольных качеств судна, Труды Аркт. инст., т. 130, Л., 1938.

А. И. КОСОЙ

О МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКЛОНЕНИЯ
НА ДРЕЙФУЮЩЕМ ЛЬДУ

Известно, что ни интерполяция между двумя или несколькими магнитными пунктами, определенными на суше, ни экстраполяция не дают достаточно правильной величины магнитного склонения в той или иной точке моря; поэтому магнитная съемка морей была признана необходимой еще на заре развития геомагнитных исследований.

Наблюдения показали, что разница между величинами какого-либо элемента земного магнитного поля, определенными на суше и на море (как в большом удалении от берега, так и вблизи его), выражалась значительной величиной; поэтому увеличение или уменьшение элемента можно объяснить не только пространственным изменением, но и геологическим строением берега, что с достаточной очевидностью подтверждают магнитные работы, проведенные гидрографической экспедицией на л/п „Малыгин“ в 1937 г.

Так, например, при одновременных наблюдениях у о-вов Фирнлея имеем следующие результаты:

	D	H	I	Наблюдатель
На берегу	26°35'	0,04427	85°38',2	Л. Н. Надеев
На припае	25 23	0,05462	84 31 ,2	А. И. Косой

Аналогичную картину имеем и у о. Русского по работам астронома Л. Н. Надеева в том же году:

На берегу $D=26^{\circ}53'$ } Суточные вариации исключены.
На припае $D=25\ 40$ }

Несходство результатов наблюдений еще сильнее сказывается около обрывистых берегов с выходами изверженных пород. Так, например, у мыса Дежнева склонение уменьшается на один градус при удалении от берега, примерно, на каждый километр.¹ Обобщая же отдельные известные нам случаи параллельных наблюдений на берегу и на льду (вблизи от берега), можно сказать, что при наличии изверженных пород склонение на суше на 1—3° больше, чем на льду (при небольшом расстоянии от берега).

Все это заставляет обратить серьезное внимание на определение возможно большего количества магнитных пунктов на льду и в первую очередь — склонения. Это необходимо не только для геомагнитных исследований и общей магнитной карты Союза, но также и для навигационных целей.

Долгие годы наши полярные капитаны, идя Северным морским путем с востока на запад, при подходе к проливу Вилькицкого оказывались много севернее своего счислимого места, и только в результате работ магнитологов экспедиций на ледокольных пароходах „Седов“, „Малыгин“ и „Садко“ в 1937 г. выяснилась причина этого; оказалось, что склонение,

¹ И. А. Милев и Н. А. Болдырев, К вопросу о магнитной съемке Чукотского полуострова. „Труды Аркт. инст.“, т. XXXIX, Л., 1936.

даваемое на морских картах для моря Лаптевых по береговым данным, было на $4,4 - 4^{\circ},6$ больше полученного в результате наблюдений склонения на льду.

Так по работам автора имеем:

	Пункт № 3	Пункт № 4
Старые данные	$+8^{\circ},0$	0°
Новые данные	$+3^{\circ},6$	$-4^{\circ},6$

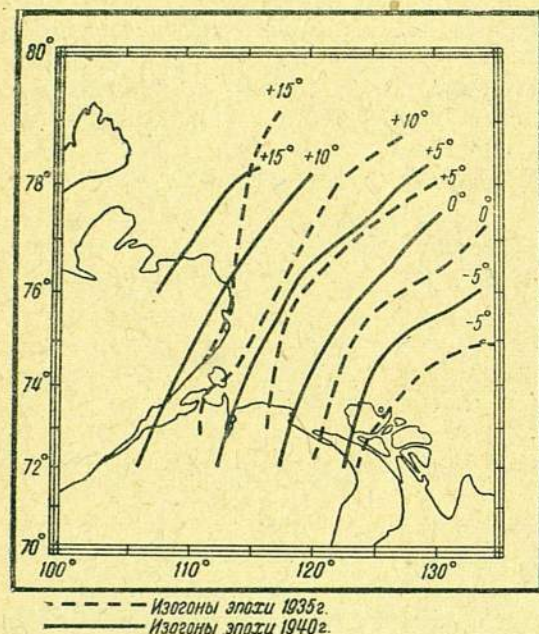


Рис. 1.

В результате магнитных работ 1937 г. значительно изменилась карта изогон моря Лаптевых (рис. 1).

Общим доводом, заставляющим ставить магнитную съемку на воде или на льду, вне зависимости от геологического строения района, является известное стремление изогон уклоняться в сторону суши, что затрудняет какое-либо продолжение в море изогон, проведенных на материке по береговым наблюдениям.

Определения магнитных пунктов на дрейфующем льду требуют создания некоторой методики этих определений.

Так, если для определения склонения на берегу или неподвижном припайе необходимо только единичное определение истинного азимута мира, то при наблюдении на дрейфующем льду надо не только знать азимут мира, но и определить его

изменение для каждого данного момента, происходящее от поступательного и вращательного движения ледяного поля, на котором находится наблюдатель.

В процессе работ в навигацию 1937 г. автором применялись два способа, в основу которых легло указание магнитолога П. Е. Федулова о необходимости участия в данных работах двух инструментов — магнитного теодолита (для определения склонения) и любого геодезического теодолита (для определения азимута и для наблюдения за изменением его). Был также применен метод работы лишь с одним магнитным теодолитом.

Для выяснения наиболее пригодного и рекомендуемого в дальнейшем способа наблюдений необходимо разобрать результаты наблюдений при применении каждого из этих способов.

На магнитных пунктах, определенных астрономами экспедиции на л/п „Малыгин“ Л. Н. Надеевым и автором в 1937 г. в юго-западной части Карского моря, азимуты при наблюдении склонения определялись по часовым углам солнца $30''$ теодолитом „Геофизика“, установленным

в 80—100 метрах от магнитного теодолита „Комбайн“. Наблюдавший на теодолите через каждые 4—5 минут делал наведение нити на солнце и время от времени записывал отсчет горизонтального лимба при наведении трубы на „Комбайн“. Наблюдатель, работающий на „Комбайне“, в свою очередь, перед началом и по окончании каждой серии наблюдений склонения, записывал отсчеты лимба при наведении трубы „Комбайна“ на вертикальную ось теодолита, что служило контролем неизменяемости линии „теодолит — «Комбайн»“. Вычисленные амплитуды интерполировались на средний момент каждой определяемой серии склонения.

Несмотря на довольно быстрое вращение льдины (скорость вращения $\frac{1}{4}^\circ$ в минуту), получилась довольно хорошая сходимость из всех серий.

№№ серий	Время	Склонение
1	15 ч. 58 м.	23°55',7
2	16 11	55 7
3	16 25	19 7
4	16 37	47 7
5	16 51	24 27 7
Среднее	—	23°53',3

Среднее значение из пяти серий весьма близко по величине к результатам 1-й, 2-й и 4-й серий. Отклонения 3-й и 5-й серий объяснить вариациями трудно, ввиду относительно спокойного магнитного поля во время наблюдений (вариации на о. Диксона в этот день колебались от -2 до $+16'$).

Надо полагать, что причина таких отклонений лежит в недостатках способа интерполяции значений азимутов, так как при этом нельзя учесть отдельные неравномерные изменения в движении ледяного поля. При большом количестве наблюдений способ этот надо считать достаточно надежным.

Основной недостаток первого метода был мною устранен при наблюдении магнитного пункта № 4 на льду в море Лаптевых.

Здесь, как и на пунктах № 1 и № 2, в расстоянии 80—100 метров от „Комбайна“ был установлен 30" теодолит, на котором помощник астронома (студент Гидрографического института Я. П. К о б л е н ц) наблюдал азимуты по часовым углам солнца.

Однако наблюдения азимута не были независимы от наблюдений склонения, а синхронизированы с ними.

Каждому наблюдению положения магнита соответствовало одно определенное значение азимута, т. е. для каждой серии склонения имелось четыре независимых определения азимута.

Работа проводилась следующим образом.

Астроном после успокоения магнитика командовал помощнику: „Приготовиться“. Через 20—30 секунд от помощника следовал ответ: „Готово“. При этом астроном совмещал нить магнитной трубы с ее изображением в зеркале магнитика, а помощник — вертикальную нить со серединой диска солнца. Таким образом, необходимость интерполяции поля получения азимутов (к моменту определения склонения) отпала.

Так как вращательное и поступательное движения льдины в данном случае были весьма различны (рис. 2), интерполирование азимута могло бы внести большую погрешность.

Рис. 2 построен по 14 наведениям на солнце; из него видно, что если бы азимут был определен только дважды, то ошибка в D могла бы достигать 2° .

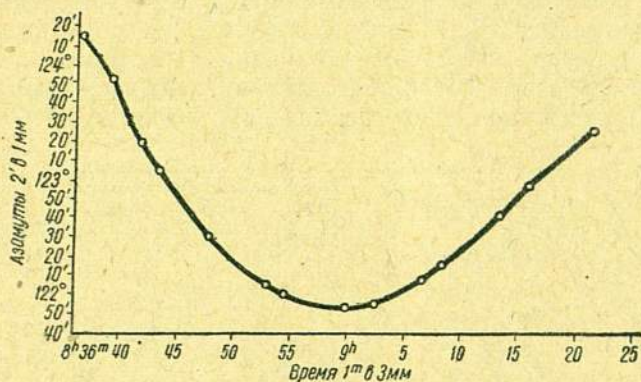


Рис. 2.

Надежность примененного способа становится очевидной при просмотре результатов наблюдений. Несмотря на суммарный поворот льдины в течение времени наблюдений (около часа) почти на 5° , все три серии дали хорошую сходимость.

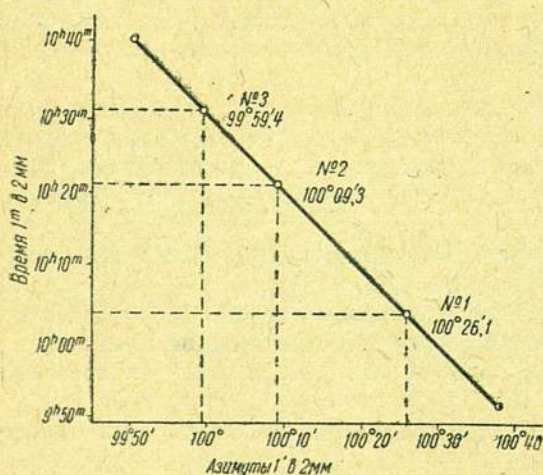


Рис. 3.

№№ серий	Время	Поворот льдины	D
1	8 ч. 42 м.		$-4^\circ 46' 9$
2	9 02	$-1^\circ 17'$	$-4 30 0$
3	9 17	$+1 06$	$-4 31 2$

Несомненно, что при достаточной квалификации помощника и сработанности обоих наблюдателей достигается одновременность наблюдений и еще лучшая сходимость результатов.

Во время той же экспедиции автору пришлось определять склонение на льду при отсутствии помощника. В этом случае азимуты мира определялись по солнцу

с помощью „Комбайна“ до и после магнитных наблюдений.

Промежуточные определений сделано не было, и определение азимута принято пропорционально времени; для этого был построен график изменения азимута, с которого снимались значения азимутов для средних моментов определений каждой серии склонения (рис. 3).

Несмотря на ненадежность такого способа, результаты определения D по трем сериям дали прекрасную сходимость:

№№ серий	Время	D
1	10 ч. 05 м.	3°33',2
2	10 22	35 1
3	10 32	37 8

Рекомендовать последний способ нельзя, поэтому и прибегать к нему следует лишь в исключительных случаях (при отсутствии помощника, при равномерном перемещении ледяного поля или очень кратком времени наблюдений).

Однако необходимо при применении этого способа определять хотя бы один (3-й) прием азимута в середине периода наблюдений.

Выводы

1. Важность магнитной съемки на льду для гидрографии (для составления навигационных карт) настолько велика, что Гидрографическому управлению Главсевморпути, при посылке в Арктику комплексных экспедиций, необходимо обратить серьезнейшее внимание на включение в план их работ производства магнитных наблюдений, с переходом от отдельных случайных пунктов к систематической работе на трассе.

2. Магнитные партии необходимо формировать в составе двух лиц — магнитолога и квалифицированного помощника, знакомого с простейшими астрономическими наблюдениями по солнцу, с тем, чтобы при работе на дрейфующем льду можно было вести работы синхронно на двух инструментах, согласно методике, разработанной экспедицией на л/п „Малыгин“ в 1937 г.

3. Необходимо издать инструкцию о наблюдениях со льда и обязать всех магнитологов руководствоваться ею.

4. За невозможностью полного освещения магнитного поля трассы только наблюдениями со льда, в силу зависимости мест наблюдений от расположения льда, Гидрографическому управлению Главсевморпути следует ставить вопрос о необходимости постройки антимагнитного судна — как единственно радикальной меры для полной магнитной съемки обширных морских пространств нашей родины.

И. П. КОРОВКИН

МАТЕРИАЛЫ ПО ГИДРОЛОГИИ РЕКИ ХАТАНГИ

Начало гидрологических исследований р. Хатанги относится к лету 1934 г., когда отрядом Арктического научно-исследовательского института Главсевморпути в составе гидролога И. П. Коровкина и техника В. П. Коровкина был установлен свайный водомерный пост у сел. Хатангского и замерен ряд расходов воды р. Хатанги.

В 1935—1936 гг. на реке Хатанге у сел. Хатангского был проведен годовой цикл стационарных гидрологических работ экспедицией Арктического института в составе начальника экспедиции И. П. Коровкина,

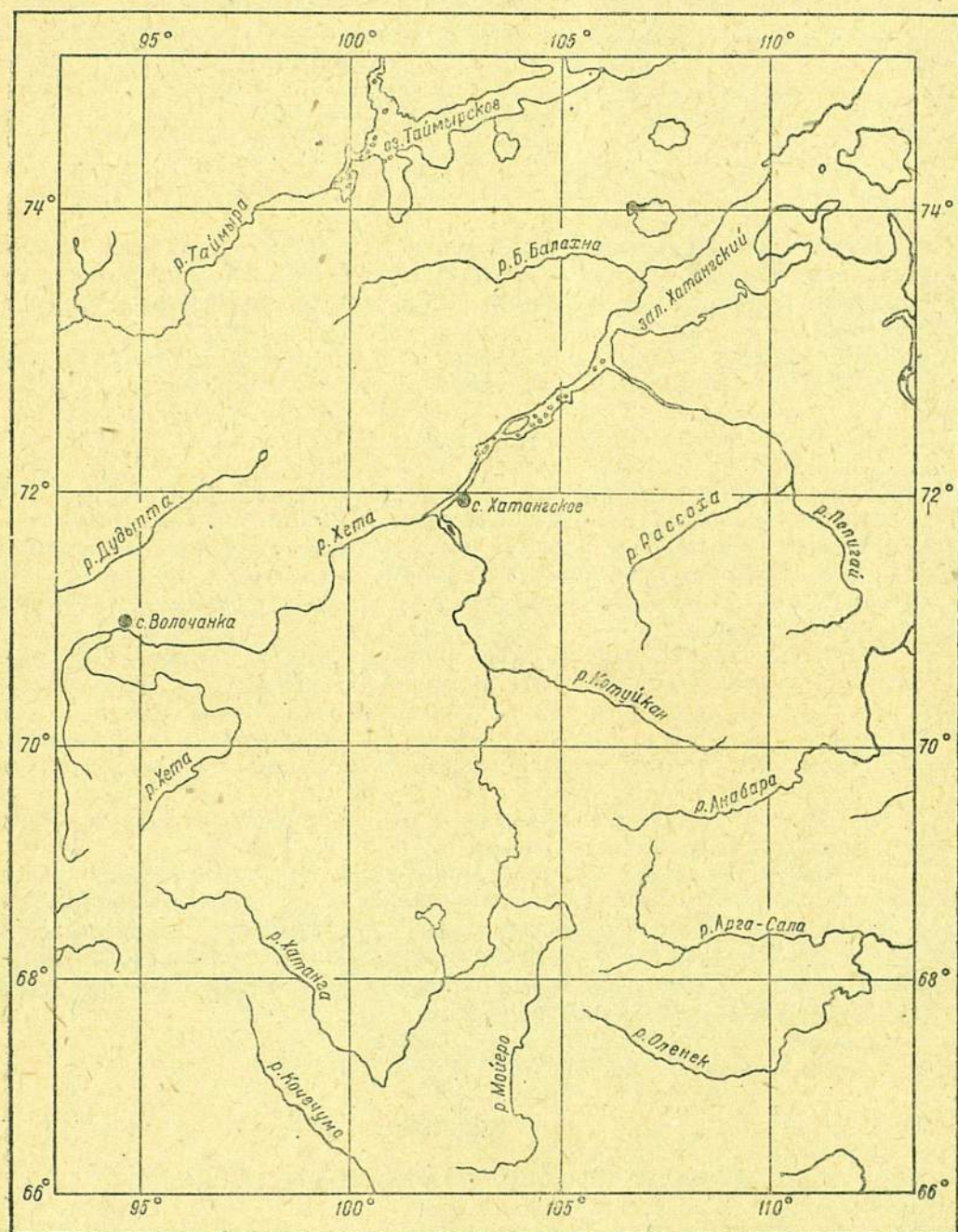


Рис. 1. Схематическая карта бассейна р. Хатанги.

гидролога Е. П. Бурдыкиной и техников В. П. Коровкина и М. Н. Исакова.

В настоящей статье публикуются некоторые результаты работ этой экспедиции.

I. Общие сведения

Бассейн р. Хатанги и Хатангского залива расположен между 92 и 113° в. д. и 66 и 75° с. ш. С запада бассейн р. Хатанги граничит с бассейнами рр. Енисея, Пясины и Подкаменной Тунгуски и с бассейном Таймырского озера; с востока — с бассейнами рр. Лены, Оленека и Анабары.

Река Хатанга берет свое начало из озер Мокшени, Тампаки и Камешки (расположенных около 95° в. д. и 69° с. ш.) и впадает в море Лаптевых.



Рис. 2. Хатангский залив у мыса Большая Карга.

Таблица 1

Площадь бассейна р. Хатанги и Хатангского залива с притоками

Наименование притоков	Расстояние от моря в км	Берег	Площадь водосбора в кв. км		
			р. Хатанга	притоки	общая
Река Хатанга					
Исток р. Хатанги	1777	—	—	—	—
Река Мойеро	1064	Правый	60 394	30 763	91 157
Река Котуйкан	733	"	129 928	20 410	150 337
Река Хета	504	Левый	181 662	84 486	266 1488
Река Попигай	304	Правый	300 489	40 865	341 354
Устье р. Хатанги у мыса Большая Карга	260	—	344 740	—	344 740
Хатангский залив					
Реки Большая Балахна и Гусиха	254	Левый	348 084	27 142	375 226
Устье Хатангского залива	00	—	396 253	—	396 253

Общая длина р. Хатанги до мыса Большая Карга составляет 1517 км. Границей реки и залива следует считать мыс Большая Карга, так как наличие обширных мелей в этом районе свидетельствует об усиленной аккумулятивной деятельности реки и, кроме того, только до мыса Большая Карга в течение всего года не прекращается воздействие моря в виде приливо-отливных колебаний уровня воды. Площадь бассейна р. Хатанги характеризуется табл. 1.

II. Уровни воды реки Хатанги у селения Хатангского

Наблюдения над уровнем воды производились по свайному водомерному посту в 7, 13 и 19 часов. В осенний и зимний периоды, когда у сел. Ха-

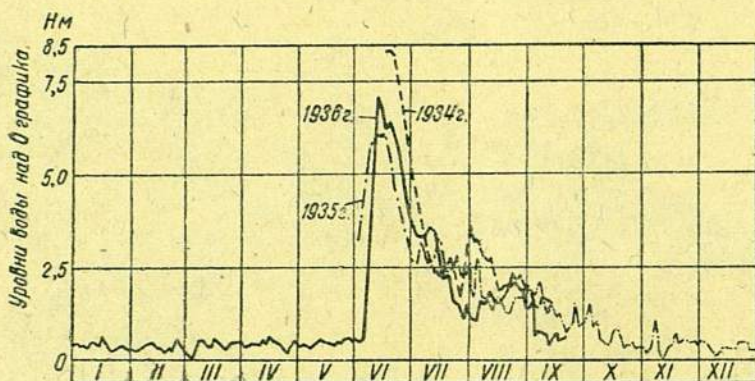


Рис. 3. Уровни воды в р. Хатанге у сел. Хатангского.

тангского наблюдались приливо-отливные явления, наблюдения производились ежечасно. Материалы по приливам опубликованы в „Трудах Арктического института“, т. 105, вып. II, 1938 г. Уровни приведены к реперу (ко-стыль в углу церкви влево от входа) с условной отметкой 24,19 м.

Водомерные наблюдения были проведены в течение трех навигационных и одного зимнего периодов.

Годовой ход уровня в р. Хатанге имеет следующий характер. В конце мая или начале июня, с началом таяния снегов, начинается подледный подъем уровня воды. К середине июня уровень достигает своего максимума, что обычно совпадает с началом ледохода. Вместе с ледоходом начинается медленный, продолжающийся около месяца спад уровня воды. В июле наблюдаются небольшие подъемы уровня от выпадающих дождей. Дождевые паводки продолжают влиять до ледостава, наступающего обычно в конце сентября или начале октября. Вообще же уровень после ледохода неуклонно продолжает снижаться. С падением уровня до отметки 2 м начинают сказываться явления прилива. Приливы с амплитудой в 10—20 см продолжают всю зиму до нового весеннего подъема уровня. Кроме приливных колебаний уровня воды, осенью и зимой часто наблюдаются подъемы уровня от нагонных ветров. Наивысший уровень воды — 8,46 м наблюдался 18 июня 1934 г., причем старожилы не помнят столь высокого уровня в предшествующие годы. Наинизший уровень — 0,1 м — наблюдался 5 марта 1936 г.

III. Замерзание, ледостав и вскрытие реки Хатанги у селения Хатангского

В 1935 г. осенний ледоход начался 29 сентября и река стала 2 октября. Это, примерно, средний срок ледостава. В прошлые годы наблюдались более ранние или более поздние сроки ледостава — на 10—15 дней. После ледостава около 15 дней на реке наблюдались полыньи и береговые наледи, как следствие приливных колебаний уровня.

Наблюдения над ростом льда производились в течение всей зимы 1935/36 г. во время промерных работ на гидрометрическом участке, а с 1 января — на двух площадках, очищенных от снега, — у берега и на фарватере реки. Толщина льда у берегов оказалась в среднем на 40 см больше, чем на середине реки. На открытых площадках за 3,5 месяца толщина льда превысила рост льда под снегом на 50 см.

Таблица 2

Нарастание ледяного покрова на р. Хатанге у сел. Хатангского (в см)

	1935 г.		1936 г.								
	11/XI	20/XI	1/I	15/I	30/I	10/II	20/II	1/III	10/III	20/III	10/IV
Площадка № 2 на середине реки											
Под снегом	—	30	56	63	80	92	92	105	106	110	115
Без снега	—	—	56	83	82	100	115	118	128	148	167
Площадка № 1 у правого берега											
Под снегом	31	33	74	86	99	115	129	136	142	148	157
Без снега	—	—	74	90	107	130	142	146	161	160	206

Вообще ледовый покров на р. Хатанге достигает толщины 2 м. Под влиянием приливных колебаний уровня лед на реке образует трещины, через которые вода частично выливается на поверхность льда под снегом. Ледоход на р. Хатанге обычно происходит в июне. В 1936 г. 2 июня появились наледи. 4 июня началось образование заберегов. Прибыль воды и рост наледи и заберегов продолжались до 10 июня, когда произошла первая подвижка льда, продолжавшаяся 20 минут. 11 июня происходили периодические подвижки льда, и 12 июня начался общий ледоход, продолжавшийся до 16 июня. Ледоход проходил очень бурно, сплошным торосистым потоком, с частыми заторами. 17 июня начался ледоход с р. Хеты, закончившийся только к 22 июня. Повторный ледоход с крупнейшего притока Хатанги — р. Хеты — повторяется ежегодно.

IV. Уровни воды, замерзание, ледостав и вскрытие реки Хеты у селения Волочанки

Наблюдения над уровнем р. Хеты производились в течение навигационных периодов 1933, 1934 и 1935 гг. составом метеорологической станции. Наблюдения 1933 г. не были привязаны к отметке репера. В 1934 г. была

произведена нивелировка водомерного поста и принята условная отметка репера в 15,0 м. К этой отметке и приведены все наблюдения. Ход уровня в р. Хете у сел. Волочанки имеет следующие особенности. Весенний паводок дает 2—3 кратковременных подъема уровня. Летние дождевые паводки продолжаются не более 2—5 дней. Благодаря большому уклону речного русла колебания уровня воды происходят здесь очень быстро.

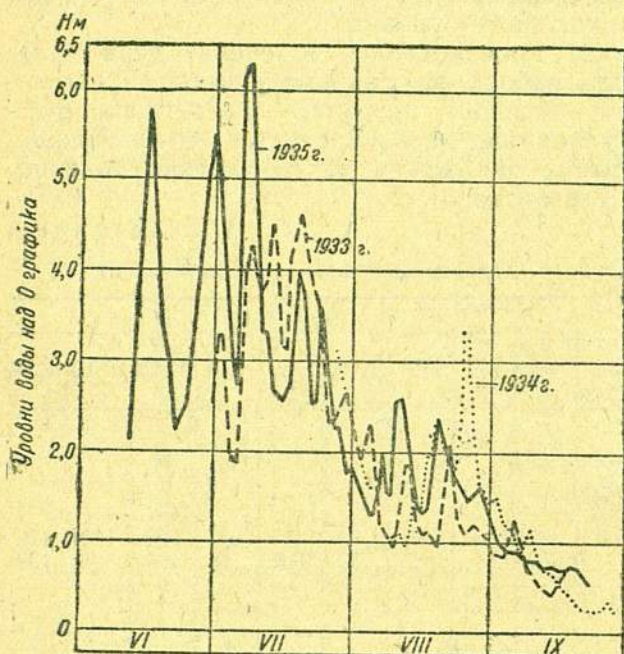


Рис. 4. Уровни воды в р. Хете у сел. Волочанки.

наоборот, был очень бурным и сопровождался исключительно высоким подъемом уровня. Ледоход продолжался с 13 по 17 июня как на р. Хете, так и на р. Хатанге. В 1935 г. ледоход был вновь затяжной. Появление полыней на р. Хете было отмечено 14 мая, а ледоход продолжался с 18 по 31 мая.

V. Скорости течения, расходы и сток реки Хатанги у селения Хатангского

Гидрометрический участок у сел. Хатангского представляет углубленный плесовый участок русла длиной около 5 км, шириной 1 км и глубиной до 20 м. Площадь бассейна р. Хатанги с притоками до сел. Хатангского равна 274 000 кв. км.

Гидрометрический створ пересекает реку против сел. Хатангского у водомерного поста. Второй гидрометрический створ был разбит в протоке, берущей начало из р. Хеты и впадающей в р. Хатангу в 2 км ниже сел. Хатангского. Зимние гидрометрические работы проводились на одной вертикали на середине реки. Летом 1936 г. здесь было замерено 20 расходов воды, причем первые 9 расходов были замерены в период ледохода засечками теодолитом плывущих льдин и 11 расходов были замерены вертуш-

После летних паводков уровень в реке снижается, и зимой река промерзает до дна. Осенний ледостав на р. Хете происходит приблизительно одновременно с ледоставом на р. Хатанге. В 1932 г. ледостав наступил очень поздно — 14 октября. Ледостав 1933 г. наступил 26 сентября. В 1934 г. 26 сентября появилось сало, а 29 сентября река стала.

Река Хета изобилует большим количеством мелководных перекатов, быстро промерзающих зимой. В верховьях реки весной вода идет по поверхности льда, примерзшего к грунту, и значительные массы льда тают на месте. В 1933 г. таяние снегов началось 1 июня. Ледоход начался 17 июня, имел затяжной характер и продолжался до 1 июля. Ледоход 1934 г.,

Таблица 3

Гидравлические элементы р. Хатанги у сел. Хатангского за 1936 г.

№№ расхо- дов	Дата	Место опре- деления расходов	фаза	Уровень воды в м	Расход воды в куб. м в сек.	Площадь сечения в кв. м	Ширина реки в м	Глубина в м		Скорость теч. в м/сек.	Метод опреде- ления расхода	Расход взвешен- ных на- носов в кг/сек.
								сред- няя	наи- боль- шая	сред- няя		
1	12/VI	У сел. Ха- тангского То же	Весенний ледоход То же	7,28	18 322	18 047	1239	14,56	26,06	1,01	Засечки плы- вущего льда	—
2	13/VI	"	"	6,99	16 956	17 690	1229	14,39	25,77	0,96	"	—
3	14/VI	"	"	1,59	13 998	17 200	1214	14,17	25,37	0,81	"	—
4	15/VI	"	"	6,31	14 124	16 862	1204	14,00	25,09	0,84	"	—
5	16/VI	"	"	6,22	14 686	16 754	1201	13,95	25,00	0,88	"	—
6	17/VI	"	Ледоход р. Хеты То же	6,38	14 461	16 945	1206	14,05	25,16	0,85	"	—
7	18/VI	"	"	6,48	17 202	17 067	1210	14,10	25,26	1,00	"	—
8	19/VI	"	"	6,33	15 281	16 885	1204	14,02	25,11	0,90	"	—
9	20/VI	"	"	6,14	14 354	16 658	1198	13,90	24,92	0,87	"	—
10	24/VI	"	"	5,25	Изъят	15 606	1166	13,38	24,03	—	Вертушка Эк- мана—Мерца	—
11	26/VI	"	Спад	4,73	12 948	15 004	1147	13,08	23,51	0,86	Вертушка Отта	300,9
12	30/VI	"	"	3,61	7 352	13 742	1107	12,41	22,39	0,53	"	341,6
13	1/VII	"	"	3,46	7 745	13 577	1101	12,33	22,24	0,57	"	208,1
14	2/VII	"	Межень	3,33	7 220	13 434	1097	12,24	22,11	0,55	"	—
15	6/VII	"	Полъем	3,36	7 702	13 467	1098	12,25	22,14	0,57	"	593,2
16	16/VII	"	Межень	2,33	4 513	12 358	1055	11,71	21,11	0,36	"	48,0
17	13/VIII	"	Спад	1,49	3 513	11 488	1016	11,31	20,27	0,31	"	91,7
18	15/VIII	"	Межень	1,60	2 901	11 600	1023	11,34	20,38	0,25	"	—
19	5/IX	"	Прилив	0,60	000	10 610	937	11,09	19,33	0,00	"	—
20	6/IX	"	Отлив	0,90	2 310	10 900	977	11,16	19,68	0,21	"	—
1	2/VII	В протоке у сел. Ха- тангского То же	Межень	3,34	334	1 985	248	8,01	12,84	0,17	"	12,1
2	17/VIII	"	То же	1,63	103	1 599	217	7,37	11,13	0,06	"	0,06

кой со шлюпки. Определение места стоянок производилось засечкой секстаном на опорные вехи. Метод наблюдений над скоростями течения применялся шеститочечный. Расходы были обработаны графо-механическим способом, и кривая зависимости $Q=f(H)$ построена по способу Стевенса.

В зимний период приливо-отливные скорости течения в реке не превышали 10 см в секунду, а в большинстве случаев вертушка совершенно не вращалась; вследствие этого учесть расходы воды в зимний период не было возможности. Летом скорости течения колебались в пределах от 1,71 м/сек. во время прохождения гребня паводка и до нуля во время прилива при уровне 0,6 м. Обратного направления течения в реке, несмотря на наличие приливов, в летний период не наблюдалось.

Летом расходы воды колебались в пределах от 18 322 куб. м в секунду при прохождении гребня весеннего паводка и до нуля — во время осенних приливов. Расходы, замеренные во время отлива, давали преувеличенные значения.

Расходы в протоке у сел. Хатангского (по измерениям расходов в 1934 и 1936 гг.) составляли около 5% от расхода главного русла.

По кривой зависимости $Q=f(H)$, построенной на основании замеренных летом расходов воды, подсчитан сток р. Хатанги за три навигационных периода за июнь—сентябрь 1934, 1935 и 1936 гг. Результаты приводятся ниже.

Таблица 4

Среднемесячные расходы воды в р. Хатанге в м³/сек.

Годы	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
1934	9 840	6 243	5 258	2 430
1935	10 706	5 691	3 493	2 689
1936	10 713	5 375	3 401	1 373

Наблюдения над взвешенными наносами р. Хатанги были начаты в 1934 г., когда при измерении расходов были собраны две суммарных пробы батометрами-тахиметрами. Зимой 1935/36 г. пробы на наносы брались на одной вертикали на фарватере и летом 1936 г. при измерении расходов воды — с 3—5 вертикалей. Пробы брались в объеме 5 л с поверхности, с глубины 0,5 м и у дна. Фильтрация проб производилась на месте, а взвешивание и определение неорганического остатка — по приезде из экспедиции в Ленинграде. Мутность воды р. Хатанги оказалась незначительной, особенно зимой. В протоке значительная мутность наблюдалась в июле благодаря размыву илстых отложений, а в августе она резко снизилась вследствие уменьшения скоростей течения и обмеления протоки, сток через которую из р. Хеты летом почти прекращается. Во время маршрутов в верховья р. Хатанги и в Хатангский залив, а также при промерах озер в бассейне р. Чиерес близ сел. Хатангского, были собраны пробы на мутность с поверхности воды. Наименьшей мутность оказалась в озерах и верховьях реки. 15 проб, собранных через каждые 20 км пути от сел. Хатангского до бухты Сындаска в Хатангском заливе, характеризуются очень неравномерным распределением мутности. В самом заливе на величину мутности оказывают сильное влияние ветер и вызываемое им волнение.

Таблица 5

Мутность воды в р. Хатанге и озерах

Место взятия проб воды	Месяц и год	Количество проб	Мутность в г/м³		
			средняя	максималь- ная	минималь- ная
Река Хатанга у сел. Хатанг- ского	VIII 1934	Суммарная	29,00	—	—
То же	IX 1934	То же	40,10	—	—
"	XI 1935	3	1,13	1,25	0,93
"	I 1936	7	6,21	36,35	0,21
"	VI 1936	11	34,90	116,16	5,96
"	VII 1936	37	39,20	156,08	5,16
"	VIII 1936	9	30,50	64,88	3,24
Протока р. Хатанги . . .	VIII 1936	6	53,17	157,64	14,00
То же	VIII 1936	9	5,98	10,56	3,28
Река Хатанга в 150 км выше сел. Хатангского .	VIII 1936	1	3,16	—	—
Река Хатанга в 20 км выше сел. Хатангского	VIII 1936	1	0,92	—	—
Река Эречка	VIII 1936	1	0,46	—	—
Озера р. Чиерес	VII 1936	7	3,07	8,15	0,40
Река Хатанга с заливом на протяжении 300 км . . .	VII 1936	15	14,51	82,38	2,72

Количество органических веществ в наносах летом значительно больше, чем зимой, но процентное отношение к общему весу наносов зимой выше.

Таблица 6

Содержание органических веществ во взвешенных наносах в р. Хатанге и озерах р. Чиерес за 1935—1936 гг.

	Место взятия проб									
	Р е к а							Протоки		Озера
	9/XII	12/I	26/VI	1/VII	6/VII	16/VII	13/VIII	2/VII	17/VIII	24/XII
Количество сожженных фильтров	1	1	6	13	14	6	9	6	9	7
Содержание органиче- ских веществ в г/м³ .	0,55	0,60	8,74	1,66	5,60	8,21	6,53	5,83	0,27	4,29
Процент к общему весу наносов	44,0	52,3	14,0	10,9	8,5	0,7	2,4	11,1	0,4	15,2

Для летнего периода были вычислены 6 секундных расходов наносов р. Хатанги и по ним построена кривая зависимости $q = f(H)$. Подсчет твердого стока с 21 июня по 22 сентября дал в сумме 1 335 502 т или, принимая удельный вес наносов равным 2,5, 534 201 куб. м. Разделив результат на площадь водосбора до сел. Хатангского, получим сток, равный 1,95 куб. м с 1 кв. м.

Для характеристики речных отложений, во время маршрута в Хатангский залив, одновременно с взятием проб воды были собраны образцы донного грунта. То же было выполнено и на озерах р. Чиерес у сел. Хатангского.

В Ленинграде был произведен механический анализ собранных грунтов методами Сабанина и Робинсона. Анализ показал, что ложе реки и залива в значительной части сложено из мелких пылеватых частиц с примесью песка и ила. Только в узких местах речного русла преобладает песок. В грунтах озер наблюдается еще большее преобладание пылевато-илистых и местами даже глинистых фракций.

Таблица 7

**Механический состав грунтов р. Хатанги, Хатангского залива и озер
в бассейне р. Чиерес**

Место взятия пробы	Размер частиц в мм						Наименование грунта
	20—10	10—1	1—0,1	0,1—0,01	0,01— 0,001	меньше 0,001	
	Содержание частиц в %						
	галька	гравий	песок	пыль	ил	глина	
Хатангский залив против р. Князев- ки	—	—	16,05	63,09	15,14	5,72	Пыль песчано-или- стая
Река Хатанга у мыса Большая Карга . .	—	—	19,19	71,39	5,69	3,23	Пыль песчаная
Против устья р. По- пигай	—	—	80,46	17,81	1,73	—	Песок пылеватый
У мыса выше р. По- пигай	—	33,93	40,90	14,35	10,82	—	Песок гравелисто- пылеватый
Против п-ова Кресты	—	6,79	81,90	1,89	9,42	—	Песок
Выше о. Джон-Ары .	—	—	14,21	67,12	13,34	5,53	Пыль песчано-или- стая
Озеро Большое . . .	—	—	2,70	58,09	21,06	18,15	Пыль илисто-гли- нистая
„ „ . . .	—	—	14,90	41,68	38,64	4,78	Пыль илисто-пес- чаная
Озеро Круглое . . .	—	—	7,95	53,65	25,74	12,66	Пыль илисто-гли- нистая
„ „ . . .	—	—	3,34	39,09	36,89	0,68	Пыль иловатая
Озеро Глубокое . .	3,89	7,49	54,96	26,04	7,62	—	Песок пылеватый
Озеро Лагерное . .	—	—	7,86	67,23	19,42	5,49	Пыль иловатая
„ „ . .	—	—	0,41	67,61	24,98	7,00	Пыль иловатая
„ „ . .	—	—	19,71	65,64	11,35	3,30	Пыль песчано-или- стая

VI. Температура воды в реке Хатанге у селения Хатангского

Наблюдения над температурой воды производились у берега в три срока одновременно с водомерными наблюдениями и эпизодически при измерении расходов воды. В период ледостава температура воды равнялась нулю и систематических измерений в это время не производилось. Данные по температуре воды имеются за период с 24 июля по 12 сентября 1934 г., с 1 июня по 30 сентября 1935 г. и с 12 июня по 3 сентября 1936 г.

Годовой ход температуры воды в р. Хатанге характеризуется постепенным ростом от 0° — в момент начала ледохода до 15—17° — в середине июля, после чего начинается постепенное снижение до нуля к моменту ледостава в конце сентября — начале октября.

Таблица 8

Среднемесячные максимальные и минимальные температуры воды в р. Хатанге

Температура воды	1934 г.			1935 г.				1936 г.			
	24—31/VII	1—31/VIII	1—12/IX	1—30/VI	1—31/VII	1—31/VIII	1—30/IX	12—30/VI	1—31/VII	1—31/VIII	1—31/IX
Средняя	12,1	10,6	5,4	5,7	13,4	12,2	4,8	4,5	15,3	11,8	6,2
Максимальная	15,7	12,6	7,1	12,5	17,0	17,0	7,8	9,9	23,0	15,5	6,7
Минимальная	10,1	7,5	2,9	0,3	9,6	7,4	2,0	0,0	11,0	9,1	3,2

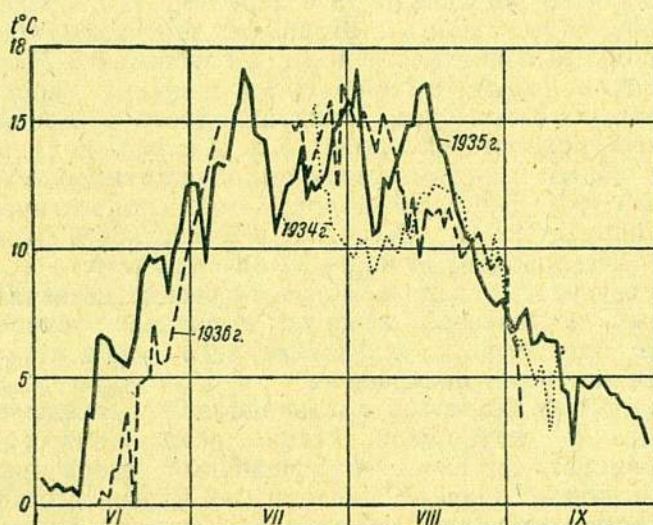


Рис. 5. Температура воды р. Хатанги.

За периоды наблюдений нами был подсчитан тепловой сток р. Хатанги. В среднем его можно считать приблизительно равным $500 \cdot 10^{12}$ больших калорий.

Таблица 9

Тепловой сток р. Хатанги у сел. Хатангского в миллиардах больших калорий

Год	Период	Тепловой сток	Тепловой сток	Тепловой сток	Всего
1934	—	24—31/VII	1—31/VIII	1—12/IX	Всего
	—	43 238	145 374	18 522	207 134
1935	1—30/VI	1—31/VII	1—31/VIII	1—30/IX	
	150 436	203 999	113 174	35 951	503 560
1936	13—30/VI	1—31/VII	1—31/VIII	1—31/IX	
	53 362	224 190	106 167	4 221	387 940

По мере продвижения к морю хатангские воды отдают тепло в окружающие слои атмосферы. За время с 15 до 27 августа 1934 г. средняя температура вода равнялась у сел. Волочанки $11^{\circ},1$, у устья р. Маймечо

11°,4, у сел. Хатангского 11°,3 и у п-ова Кресты 8°,4. Тепловое влияние реки сказывается по речной долине приблизительно на 80 км севернее границы тайги и тундры, проходящей у сел. Хатангского.

VII. Гидрохимический режим реки Хатанги

За период с октября 1935 г. по август 1936 г. сокращенному полевому химическому анализу в сел. Хатангском было подвергнуто 148 проб воды. Пробы распределяются по объектам следующим образом: из р. Хатанги у сел. Хатангского — 117 проб, из протоки в том же районе — 16 проб, из 6 озер, входящих в систему р. Чиерес, — 12 проб и из р. Хатанги выше сел. Хатангского — 3 пробы. В р. Хатанге в зимний период пробы воды брались только на одной вертикали на фарватере реки в количестве трех проб (с поверхности воды, с глубины 0,5 *H* и у дна), в дальнейшем же количество проб было увеличено до 6 через 0,2 *H* от поверхности и до дна. Летом пробы воды брались с отдельных вертикалей во время измерения расходов воды (с поверхности воды, с глубины 0,5 *H* и у дна). В озерах они собирались только с поверхности воды на середине озер. Все пробы были собраны батометром международного образца, и суммарный объем с каждого горизонта был равен 5 л. Анализы воды на месте работ и последующая обработка результатов выполнены гидрологом экспедиции Е. П. Бурдыкиной. Все пробы воды были подвергнуты анализу на следующие компоненты: O_2 , CO_2 , Alk, pH, жесткость и окисляемость. В начале работ несколько проб воды было подвергнуто анализу на фосфаты и хлор. Результаты анализа показали весьма незначительное количество указанных компонентов, лежащее в пределах точности примененных методов их определения, вследствие чего определение фосфатов и хлора в дальнейшем было прекращено.

Гидрохимические определения производились по следующей методике: кислород определялся по Винкеру, активная реакция воды (pH) по Кларку, свободная углекислота по Тильмансу, щелочный резерв прямым титрованием 0,25 *N* раствором соляной кислоты по Лунге, жесткость по Бляхеру, окисляемость по Кубель-Тиemanну, фосфаты по Аткинсу и хлор по Мору. На полный химический анализ в Ленинград были вывезены 4 пятилитровые пробы воды р. Хатанги, взятые у сел. Хатангского на фарватере реки, причем три из них взяты с поверхности воды и одна с глубины 19,25 м. Кроме того, в Ленинград было доставлено 29 концентрированных путем выпаривания проб воды, собранных во время поездки от сел. Хатангского до бухты Сындаска. Эти пробы предназначались для определения содержания хлора и кальция. Полные анализы и анализы концентрированных проб на хлор и кальций произведены в лаборатории Арктического института.

Данные, полученные в результате полевых анализов воды р. Хатанги, показали сравнительную равномерность в распределении содержания определенных компонентов по всему живому сечению русла, поэтому в табл. 10 приводятся среднеарифметические величины по всем пробам, взятым одновременно.

Рассматривая график изменения величин pH, O_2 , CO_2 и Alk, можно заметить, что величины эти обнаруживают большое постоянство в течение зимы и уменьшаются в период весеннего половодья. Это уменьшение, очевидно, является результатом разбавления хатангской воды большим количеством талой снеговой воды.

Кислород содержится в хатангской воде в наибольшем количестве

Таблица 10

Гидрохимические анализы воды р. Хатанги за 1935—1936 гг.

Дата	Место взятия пробы воды	Количество проб	Уровень воды в см	Температура воды	O ₂		Свободная CO ₂ в мг на л	Щелочность в см ³ на л 0,1 N HCl	pH	Жесткость общая в немец- ких градусах	Окисляемость O ₂ в мг на л
					з мг на л	в % насы- щения					
25/X	Река Хатанга у сел. Хатангского	1	43	0,0	—	—	17,3	—	6,8	—	6,1
28/XI	То же	3	50	0,0	9,34	64	4,6	27,0	6,45	—	5,8
24/XII	"	3	52	0,0	9,67	66	—	—	7,45	—	5,9
11/I	"	3	44	0,0	9,66	66	5,0	39,6	7,45	5,27	5,8
10/II	"	4	44	0,0	10,05	68	8,6	31,0	7,45	2,94	5,4
24/II	"	6	45	0,0	10,25	70	5,8	29,8	7,25	4,11	5,7
18/III	"	6	57	0,0	9,81	67	4,8	32,2	7,45	4,25	5,7
3/IV	"	6	35	0,0	10,05	68	6,4	31,6	7,45	3,56	6,1
14/IV	"	6	53	0,0	9,84	67	5,2	31,4	7,45	3,83	6,2
24/IV	"	6	18	0,0	9,95	68	12,8	32,9	7,45	4,33	6,4
9/V	"	5	56	0,0	9,65	66	12,7	32,2	7,38	4,56	5,6
24/V	"	6	59	0,0	9,71	66	11,4	32,0	7,45	3,94	5,8
4/VI	"	6	66	0,0	9,98	68	5,8	27,3	7,45	4,50	—
24/VI	"	3	525	5,6	8,11	64	2,9	16,8	7,45	2,33	8,0
26/VI	"	6	473	5,0	8,22	64	2,6	12,9	7,30	1,97	6,1
1/VII	"	13	346	10,5	7,52	66	3,4	14,8	7,40	2,05	6,8
2/VII	"	5	333	10,0	7,55	66	3,6	10,1	7,21	1,67	6,8
6/VII	"	14	336	11,2	7,02	63	2,5	—	7,26	—	—
16/VII	"	6	233	14,7	6,85	66	2,2	12,6	7,45	2,07	—
13/VIII	"	9	149	12,2	7,30	67	3,0	16,2	7,42	2,38	6,9
7/V	Протока р. Хатанги у сел. Хатангского	1	55	0,0	—	—	18,8	44,7	7,35	4,60	7,4
2/VII	То же	6	334	11,2	7,60	68	3,3	9,8	7,12	1,45	5,4
17/VIII	"	9	163	9,4	7,84	67	2,7	14,7	7,25	2,50	—
8/VIII	Река Хатанга в 150 км выше сел. Хатанг- ского	1	154	—	—	—	3,7	18,2	7,40	2,33	7,7
8/VIII	Река Хатанга в 20 км выше сел. Хатанг- ского	1	154	—	—	—	3,7	16,9	7,35	2,50	8,5
8/VIII	Река Эречка (устье)	1	154	—	—	—	4,1	22,1	7,45	2,33	8,2
24/VII	Река Чиерес	1	—	—	6,34	—	8,2	25,0	7,15	2,67	7,4
13/V	Озеро Глубокое	1	—	0,4	4,72	32	26,0	38,8	7,05	5,00	8,6
24/VII	"	1	—	13,5	6,96	65	3,5	19,6	7,45	2,33	7,7
9/V	Озеро Большое	1	—	0,0	7,09	48	26,0	32,6	6,95	3,67	10,1
24/VII	"	1	—	13,5	7,59	71	3,5	19,1	7,40	2,50	7,5
13/V	Озеро Желтое	1	—	0,0	0,37	3	31,7	54,0	6,55	6,17	12,3
24/VII	"	1	—	13,2	7,13	67	3,5	29,4	7,45	3,25	6,8
13/V	Озеро Круглое	1	—	0,4	4,19	29	19,9	31,4	7,05	4,17	10,1
24/VII	"	1	—	13,2	6,81	64	2,8	23,5	7,45	3,00	8,1
13/V	Озеро Лагерное	1	—	0,4	4,78	33	21,2	42,7	7,15	4,83	10,1
24/VII	"	1	—	13,2	7,09	66	3,9	31,6	7,45	3,25	8,1
24/VII	Озеро Дальнее	1	—	13,0	—	—	3,5	23,1	7,45	2,50	9,4

зимой, когда его содержание равно 9—10 мг на литр. Весной содержание его уменьшается до 6 мг на литр, а к августу оно вновь возрастает до 7 мг на литр. С глубиной количество кислорода несколько возрастает. С увеличением значения положительных температур воздуха наблюдались пониженные величины содержания кислорода. Процентное содержание кислорода

колеблется в пределах от 63 до 70%. Наименьший процент насыщения воды кислородом наблюдался в период весеннего половодья и дождливых паводков.

Количество свободной углекислоты не обнаружило какой-либо закономерности в распределении по глубинам. Зимой свободная CO_2 содержится в количестве от 4 до 7 мг на литр. Наибольшее увеличение содер-

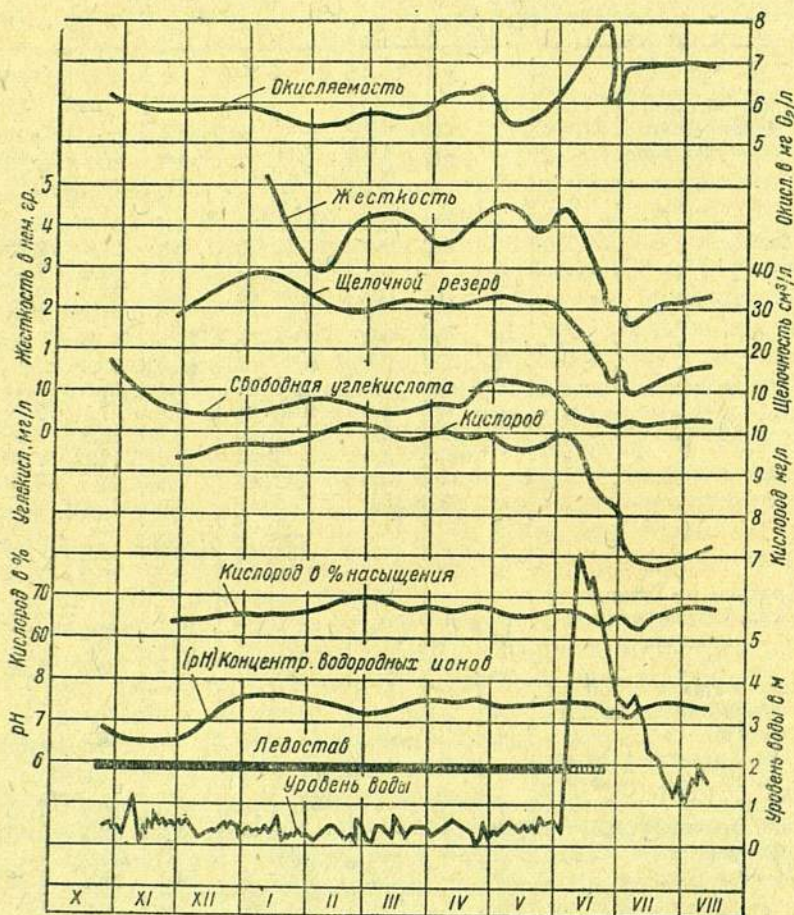


Рис. 6. Химический состав воды р. Хатанги за 1935–1936 гг.

жания CO_2 наблюдалось в апреле и осенью. В период половодья содержание CO_2 колебалось от 2 до 3 мг на литр.

Щелочной резерв зимой был равен 30–40 куб. см на литр 0,1 NHCl , весной он уменьшился до 10–12 куб. см на литр и к августу возрос до 14–16 куб. см на литр. Жесткость колебалась в пределах 1–4 немецких градусов, так что хатангскую воду следует отнести к разряду очень мягких. Величины окисляемости дают максимальные значения в период весеннего паводка, что, очевидно, является результатом сброса затухающих за зимний период озерных вод и смыва органических веществ с поверхности бассейна талыми снеговыми водами. Распределение pH обнаруживает наибольшее постоянство концентрации водородных ионов в течение года,

что следует объяснить малой точностью определения этой величины в полевых условиях по шкале Кларка.

Сопоставление результатов анализа озерных вод с близкими по времени анализами воды р. Хатанги показывает значительное преобладание количества некоторых компонентов в озерной воде. Но в то же время озерные воды зимой более бедны кислородом и отличаются большей окисляемостью. Летом это различие речных и озерных вод становится мало заметным.

Таблица 11

Химический состав воды р. Хатанги и озер

Дата	Объект	Кислород в %	Свободная CO_2	Щелочность	Окисляемость
9/V	Река	66	12,7	32,2	5,6
13/V	Озера	3—48	19,9—31,7	31,4—54,0	8,6—12,3
16/VII	Река	66	2,2	12,6	6,9
24/VII	Озера	64—71	2,8—3,9	19,1—31,6	6,8—9,4

Анализ проб из р. Хатанги и Хатангского залива на хлор и кальций не обнаружил влияния морской воды на реку, несмотря на распространение приливной волны до сел. Хатангского.

Таблица 12

Анализ воды р. Хатанги и залива на взвешенные наносы, хлор и кальций

Дата	Место взятия пробы	В мг на л		
		наносы	Cl	Ca
26/VII	Против бухты Сындаска	22,52	9,7	12,9
26/VII	" р. Пономаревки	22,42	5,4	5,8
26/VII	" р. Князевки	19,56	—	5,8
26/VII	" мыса Большая Карга	12,76	3,7	4,5
26/VII	" мыса Малая Карга	2,72	2,1	—
26/VII	" р. Попигай	9,12	0,6	3,4
27/VII	" мыса выше р. Попигай	7,68	5,0	9,3
27/VII	" мыса Рыбный	10,52	5,6	7,0
28/VII	" п-ова Кресты	4,86	6,0	9,8
28/VII	" о. Долган-Ары	4,52	7,4	9,8
29/VII	В 20 км выше острова	3,30	9,1	14,8
30/VII	Против р. Солнце-Юряг	3,00	8,6	12,0
30/VII	" мыса Леговые	82,38	9,7	11,2
30/VII	Выше о. Джон-Ары	5,52	—	9,5
31/VII	Против мыса Казачьего	6,18	5,4	—
31/VII	Против сел. Хатангского	—	6,1	10,9

Надо полагать, что в период сбора проб, т. е. в июле, речной сток был еще достаточно велик, вследствие чего возможность проникновения морской воды в Хатангский залив была исключена. В сентябре 1935 г. в районе бухты Сындаска было замечено, что во время приливов вода из-за повышенной солености становилась непригодной для питья. Во время сбора проб воды в июле 1936 г. этого явления не наблюдалось. Результаты анализа контрольных проб воды, произведенного в Ленинграде, приводятся ниже.

Таблица 13

Анализ контрольных проб воды р. Хатанги

Дата	14/IV		30/VI		30/VI		5/IX	
	мг/л	мг/экв.	мг/л	мг/экв.	мг/л	мг/экв.	мг/л	мг/экв.
Cl'	23,6	0,665	6,1	0,172	6,3	0,178	11,6	0,326
SO ₄ ''	7,9	0,166	2,2	0,046	2,0	0,042	3,9	0,081
HCO ₃ '	81,0	1,329	34,6	0,517	33,6	0,551	49,5	0,811
Ca''	22,4	1,117	7,5	0,374	7,6	0,379	12,9	0,644
Mg''	6,3	0,506	2,4	0,197	2,1	0,173	3,6	0,296
Na'	12,2	0,488	3,0	0,133	3,6	0,156	6,7	0,291
K'	1,3	0,033	0,6	0,016	0,9	0,023	0,8	0,020
Сумма	154,7	4,314	56,4	1,455	56,1	1,502	99,0	2,469
Сухой остаток при 110°	141,5		52,4		56,0		81,2	
Потеря от прокаливания	34,5		17,9		21,2		20,2	
Прокаленный сухой остаток	107,0		34,5		34,8		61,0	
Сумма Fl ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	0,3		1,0		0,5		0,8	
SiO ₂	9,4		4,0		4,6		6,9	

(донная проба)

VIII. Наблюдения в бассейне реки Чиерес

В целях установления нормы местного стока, параллельно с работами на р. Хатанге, был проведен годовой цикл наблюдений на небольшом притоке, впадающем в р. Хатангу у сел. Хатангского. Ниже приводятся некоторые результаты этих наблюдений за 1935/36 г.

Наблюдения и камеральная обработка их выполнены гидрологом экспедиции В. П. Коровкиным.

Река Чиерес впадает в р. Хатангу в 1,5 км ниже сел. Хатангского. Длина реки около 4 км, а водосборная площадь ее составляет 6,3 кв. км. Река берет начало из озера Дальнего, проходит через озеро Лагерное и слева принимает приток из озера Круглого. Дальше она протекает через озеро Малое и в 1 км ниже принимает второй приток слева, берущий начало из озера Глубокого и проходящий через озера Большое и Желтое. В 0,5 км ниже, слева от реки расположен лог, сток по которому происходит только весной и летом после сильных дождей. Название реки местное, названия же озер даны нами. Работы экспедиции в бассейне реки состояли из тахеометрической съемки бассейна в масштабе 1:10 000, маршрутных снегомерных съемок, наблюдений над промерзанием и оттаиванием грунта, наблюдений над испарением с водной поверхности на озере Лагерном (параллельно с метеорологическими наблюдениями), наблюдений за уровнем воды в озере Лагерном и на р. Чиерес ниже лога (третий приток речки) и в измерении расходов воды в последнем пункте. Снегомерные съемки производились в бассейне р. Чиерес ежемесячно с 30 октября по 10 июня по маршруту длиной в 2,5 км. Пробы брались весовым снегомером через каждые 100 м. С 1 марта для контроля был разбит еще один маршрут, параллельный первому, на расстоянии около 0,5 км по длине и по количеству измерений равный первому. Маршруты проходили через мелкий лиственный лес и частью по открытой местности.

Результаты съемок по второму контрольному маршруту почти совпадали с результатами по основному маршруту.

Как показали наблюдения, наиболее значительный рост снегового покрова происходил в октябре, феврале и марте. В декабре наблюдалось уменьшение запасов снега, очевидно за счет сдувания ветром.

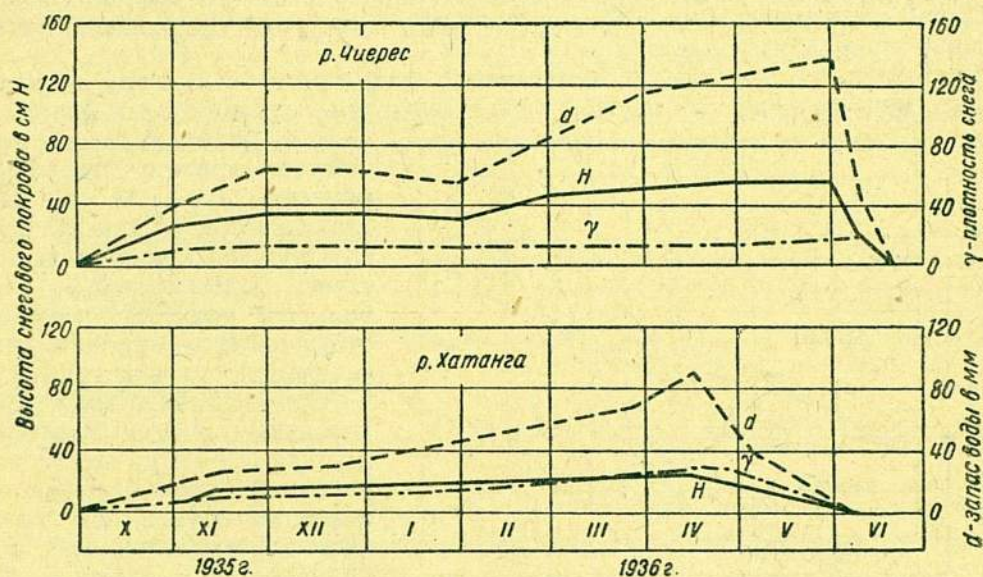


Рис. 7. Нарастание снегового покрова рр. Хатанги и Чиерес.

Таблица 14

Результаты снегомерных съемок в бассейне р. Чиерес зимой 1935/36 г.

	Время снегосъемки								
	30/X	29/XI	29/XII	29/I	29/II	30/III	30/IV	31/V	10/VI
Средняя высота снега в см . .	28	37	37	33	48	53	57	58	18
Средняя плотность снега . .	0,14	0,17	0,17	0,17	0,18	0,22	0,22	0,24	0,26
Средний запас воды в мм . .	39	64	64	56	85	115	128	137	47
Увеличение запаса воды за месяц	39	25	00	—8	29	30	13	9	—90

Снеготаяние началось в конце мая и закончилось в середине июня. Следует отметить, что на 30 апреля запас воды в снеге по данным снегосъемок равнялся 128 мм, а по данным дождемера на метеорологической станции осадков выпало только 43 мм (т. е. вдвое меньше), что еще раз достаточно наглядно иллюстрирует надежность наблюдений над твердыми осадками по дождемеру в условиях полярных стран.

Наблюдения за промерзанием и оттаиванием грунта производились в трех местах. Шурф № 1 находился на возвышенности, покрытой лесом. Здесь почва покрыта уплотненным мхом и брусничником высотой 8 см. Шурф состоял из следующих почвенных прослоек: 0—20 см—светло-коричневый суглинок, 20—40 см—бурый песок, 40—65 см—светложелтый

песок, 65—82 см — светлобурый песок. Шурф № 2 находился в долине, поросшей моховым покровом с примесью трав. Высота растительности составляла около 8 см. Верхний почвенный горизонт 0—18 см составлял влажный торфянистый грунт, горизонт 18—47 см состоял из влажного слоистого ила. Шурф № 3 находился на берегу р. Хатанги у подошвы коренного берега, лишенного растительного покрова. Шурф до вечно-мерзлого слоя (на глубине 120 см) состоял из светложелтого песка с примесью гальки и валунов.

Больше всего промерзает и оттаивает открытый песчаный грунт, значительно меньше — лесной грунт, и еще меньше — тундровые торфянистые

почвы, отличающиеся плохой теплопроводностью. Промерзание шурфа № 1 продолжалось на месяц меньше других шурфов, очевидно вследствие растительности, наибольшей мощности и рыхлости снежного покрова и относительной сухости грунта.

Сопоставляя суммы отрицательных или положительных температур воздуха с глубиной промерзания и оттаивания грунта, мы получаем в результате, что для промерзания нужно в 2—2,5 раза большее количество холода по сравнению с количеством тепла, потребного на оттаивание. Тут сказывается роль снегового покрова,

предохраняющего почву от охлаждения. Наблюдения над испарением с водной поверхности проводились на озере Лагерном с пловучей рамы, на которой были установлены открытый испарительный бак и суммарный дождемер. Высота и диаметр приборов равнялись 1 м.

Таблица 15

Наблюдения над промерзанием и оттаиванием грунта

	Дата забивки шурфа											
	1/XI	1/XI	1/XI	30/XI	3/XII	4/XII	30/XII	5/VIII	5/VIII	5/VIII	2/IX	2/IX
	1	2	3	1	2	3	1	1	2	3	1	2
Номер шурфа	1	2	3	1	2	3	1	1	2	3	1	2
Глубина вечно мерзлого слоя в см	82	47	120	82	47	120	82	82	47	120	84	47
Глубина поверхностного промерзания в см	10	18	65	32	47	120	82	—	—	—	—	—
Глубина оттаивания в см	—	—	—	—	—	—	—	68	32	102	84	47
Высота снегового покрова в см	29	28	12	50	34	28	95	0	0	0	0	0

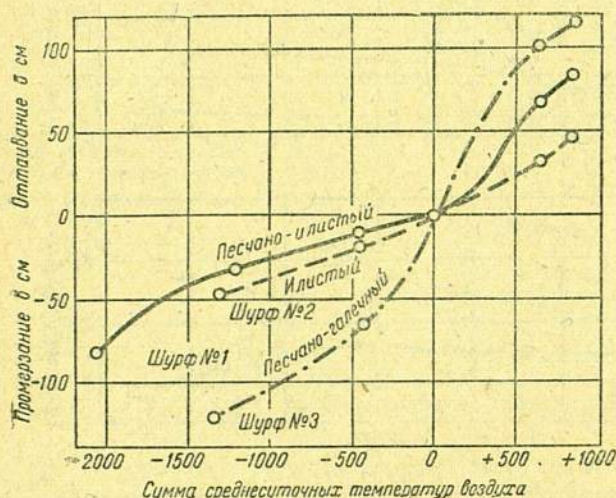


Рис. 8. Промерзание и оттаивание грунтов в зависимости от отрицательных температур воздуха.

Наблюдения были начаты 3 июля, когда растаял лед на озере. Отсчет уровня воды в испарителе измерялся бюреткой Марвина. Одновременно с наблюдениями над испарением производились наблюдения над температурой воздуха и воды, а также скоростью и направлением ветра. Наблюдения производились в 3 срока — в 7, 13 и 19 часов. Количество испарившейся с поверхности озера воды обнаружило хорошую связь с метеорологическими факторами. Сравнение результатов наблюдений над испарением с испарением, подсчитанным для тех же условий по Мейеру, обнаружило хорошее совпадение.

Общее количество испарившейся за два летних месяца с поверхности озера воды почти вдвое превышало количество выпадавших за это же время осадков.

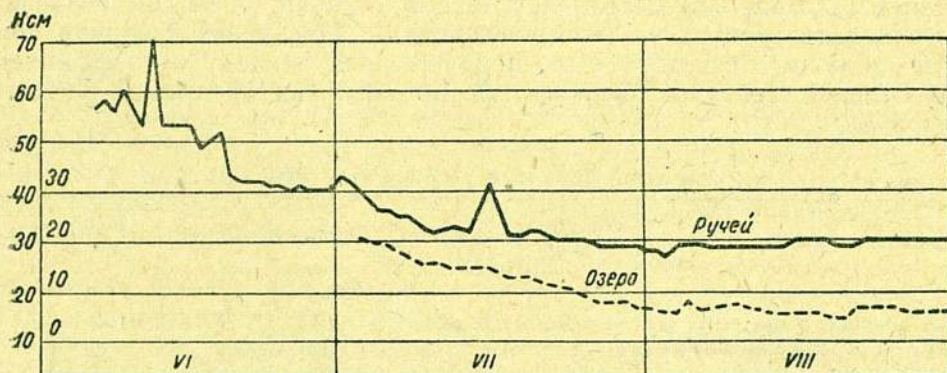


Рис. 9. Уровни воды в р. Чиерес и озере Лагерном.

Таблица 16

Среднесуточное испарение с водной поверхности в озере Лагерном за июль—август 1936 г. (по пятидневкам) в миллиметрах

	И ю л ь				А в г у с т						Сумма	Средн.
	11-15	16-20	21-25	26-31	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-31		
Испарение по наблюдениям . . .	3,4	2,2	2,1	2,5	1,9	2,4	2,8	1,5	1,8	1,5	22,1	2,2
Испарение по Мейеру	3,8	2,7	2,9	3,1	2,8	2,9	2,9	1,9	2,1	1,3	26,4	2,6

Измерения уровней воды и расходов в р. Чиерес продолжались с 5 мая по 5 сентября. Первоначально сток талой снеговой воды происходил сверху льда в русле, промерзшем до дна. Лед растаял на месте через несколько дней. Подъем уровня от таяния снега начал быстро спадать, а к 20 июня, с окончанием снеготаяния, спад резко замедлился. До середины июля продолжался медленный спад, прерывавшийся дождевыми паводками. В конце июля и в августе уровень был почти постоянным. С 5 июля были начаты наблюдения над уровнем в озере. Характер изменений уровней в реке и озере имеет большое сходство, отличаясь лишь менее резкими колебаниями в озере. Амплитуда колебаний уровня на реке за весь период наблюде-

ний была равна 44 см. Расходы воды измерялись батометром-тахиметром в период паводка ежедневно, а затем через день. Всего было измерено 46 расходов воды. Удобного места для гидрометрического створа выбрать не удалось, так как русло на всем протяжении поросло травой. Устройство водослива вызывало необходимость преграждения плотиной речной долины шириной около 50 м. При подсчете расходов воды был принят коэффициент на растительность в русле, равный 0,75, и коэффициент на измерение скоростей батометром, равный 0,80. Общий коэффициент равнялся $0,75 \times 0,80 = 0,60$. Коэффициент на батометр был установлен сравнением с вертушкой на р. Хатанге.

При выводе годового баланса водных запасов бассейна р. Чиерес были сделаны следующие допущения. Твердые осадки за май, равные, по данным Хатангской метеорологической станции, 14 мм, были увеличены втрое на основании результатов снегосъемок. Испарение с водной поверхности за июнь и сентябрь было подсчитано по Мейеру с коэффициентом 0,85. Сток за сентябрь был принят по аналогии со стоком р. Хатанги.

Таблица 17

Водный баланс в р. Чиерес за 1936 г.

	Октябрь— май	Июнь	Июль	Август	Сен- тябрь	За год
Сумма осадков в мм.	171	33	46	37	23	310
Испарение с водной поверхности в мм.	—	36	84	61	27	208
Испарение по П. С. Кузину в мм.	—	15	46	24	11	96
Средние расходы воды в куб. см.	—	0,33	0,12	0,09	0,03	0,05
Сток воды в мм.	—	134	49	38	14	235
Сток воды в р. Хатанге . . .	22	101	53	33	13	222

Годовой сток р. Чиерес получился близким к стоку р. Хатанги, превышая последний на 15 мм, что можно объяснить меньшими потерями на испарение.

Испарение с водной поверхности было равно 208 мм, но так как общая площадь водной поверхности в бассейне р. Чиерес равна 5,4% от всей площади бассейна, то естественно, что эта величина испарения не распространяется на весь бассейн. Из разности осадки и стока ($310 - 235 = 75$) получаем, что предельное значение суммы испарения равно за весь сезон 75 мм. Таким образом, испарение с поверхности бассейна получилось в наших условиях равным $\frac{75 \cdot 100}{208} = 36\%$ от испарения с водной поверхности.

Вследствие малой изученности испарения с поверхности тундры трудно определить, насколько данное соотношение верно. Определяя величину испарения по методу П. С. Кузина на основе среднемесячных температур воздуха, мы получаем за 4 месяца 96 мм на испарение. Последний метод разработан для условий рек Европейской части СССР. Сопоставляя результат по П. С. Кузину с результатом, приведенным выше, получим разность ($96 - 75 = 21$ мм). Это вполне допустимое расхождение, тем более что общее уравнение водного баланса $x = y + z$ для речки, прекращающей сток с первыми заморозками, будет претерпевать особо значительные неравенства за отдельные годы.

А. И. КРАСНОВ

ЭХОЛОТЫ

В настоящее время подводная звуковая техника, или гидроакустика, получила широкое развитие и позволяет строить ультразвуковые излучатели, работающие незатухающими колебаниями и обладающие достаточно высоким коэффициентом полезного действия и необходимой мощностью. Звукоприемные устройства достигли такого совершенства, что реагируют на мощность звукового поля, равную всего лишь 10^{-15} ватт на квадратный сантиметр и способны, таким образом, отмечать колебания, амплитуда которых измеряется микронами.

Такая чувствительность гидроакустических приборов позволила осуществлять звуковое измерение глубин, которое находит все большее и большее применение как при плавании судов в различных условиях, так и при гидрографических работах.

Приборы, позволяющие измерять глубины при помощи звукового эхо, отраженного от дна моря, носят название эхолотов и, благодаря своей высокой чувствительности, могут быть, кроме измерения глубин, использованы также для определения характера грунта, для съемки рельефа дна, отыскивания косяков рыбы и для нахождения затонувших предметов.

Мысль о возможности звукового измерения глубин высказывалась еще в 1807 г. французским физиком Араго. Но первые опыты определения скорости распространения звука в воде были произведены во Франции в 1820 г. В 1826 г. опыты были повторены Colladon'ом и Sturm'ом на Женевском озере и дали хорошие результаты — 1435 м/сек., несмотря на несовершенство технической базы, на которой опыты были поставлены.

В 1837 г. по заданию Американского адмиралтейства Вонпюкастле впервые произвел опыт звукового измерения глубин, но эхо получено не было. Ввиду этого в 1841 г. Colladon повторил свои опыты и опять получил подтверждение того, что вода является хорошим проводником звука.

Так как опыты эти стоили чрезвычайно дорого, а практического результата, ощутимого по тому времени, не наблюдалось, то они были прекращены, и до конца прошлого столетия вопросами гидроакустики почти никто не занимался.

В 1888 г. Banaré впервые предложил устанавливать заборные гидрофоны с угольными микрофонами и разработал метод определения места судна по подводному акустическому пеленгу. В 1902 г. Gray и Mundy предложили „танковую“ установку гидрофонов. Одновременно начали применяться на пловучих маяках подводные колокола, как источники для отправления звукового подводного сигнала.

В связи с гибелью в 1912 г. п/х „Титаник“ проф. Fessenden начал разработку эхолота для определения расстояний до айсбергов и установил возможность звукового измерения глубин.

В том же, 1912 г. в Германии д-р Веһт начал свои работы по созданию эхолота, причем в процессе разработки прибора он также установил, что звук с достаточной силой и четкостью отражается от дна, независимо от природы грунта. В 1913 г. Веһт взял первый патент на свой эхолот, испытанный впервые в 1915 г. в Канаде на г/с „Cartier“.

В 1918 г. американской фирмой „Submarine Signal Corporation“ по проекту проф. Fessenden'a был построен первый американский эхолот, который позволял измерять глубины от 16 до 150 м по методу отраженного угла, а от 150 до 6000 м — обычным методом.

В 1919/20 г. проф. Langevin произвел опыты с созданным им ультразвуковым эхолотом, работавшим на принципе пьезокварцевых явлений.

К 1922/23 г. были созданы в различных странах образцы эхолотов, которые начали находить все большее и большее применение.

За время с 1923 по 1930 г. эхолоты совершенствовались и упрощались, а также начали развиваться специализированные типы их, как то: „навигационные“, „гидрографические“ и т. д. С 1934 г. в области эхолотов наметился значительный перелом с созданием так называемых магнито-стрикционных эхолотов, ультразвуковых эхолотов, которые в настоящее время вытеснили все остальные образцы.

Ведущими фирмами по созданию эхолотов являются: в Германии — „Atlas Werke“, в Англии фирма „H. Hughes“.

Принцип звукового измерения глубин заключается в следующем: на корабле по одну сторону кия устанавливается излучатель звуковой энергии, который через определенные промежутки времени излучает звуковой сигнал. Этот звуковой сигнал, дойдя до морского дна, отразится от него и возвратится обратно в виде эхо, которое может быть уловлено специальным приемником, установленным на корабле по другую сторону кия. Тогда, зная скорость распространения звука в воде v и время t от момента отправки звукового сигнала до его возвращения обратно в виде эхо, можно определить глубину h по формуле

$$h = \frac{v \cdot t}{2}.$$

Так как скорость распространения звука в воде примерно в 5 раз больше, чем скорость распространения звука в воздухе, и равна в среднем 1500 м/сек., то для того, чтобы измерить глубину с точностью до 1 м, необходимо уметь регистрировать время с точностью до $\frac{1}{750}$ доли секунды. Мореплавателю же часто бывает необходимо знать глубину с точностью до 0,25 м, а такая точность измерения глубины требует регистрации промежутков времени с точностью до $\frac{1}{3000}$ доли секунды. Естественно поэтому, что создание современного эхолота прошло много стадий развития, прежде чем техника удовлетворительно разрешила способы столь точной регистрации малых промежутков времени.

Звуковые волны представляют собой „продольные“ колебания, т. е. волны сжатий и разрежений. В жидкостях скорость распространения их может быть вычислена по формуле Лапласа.

$$v = \sqrt{\frac{1}{\rho \cdot k}},$$

где v — скорость распространения звука;

ρ — плотность;

k — коэффициент сжатия.

Как показывают теория и практика, наибольшее влияние на скорость распространения звуковой волны v имеет коэффициент сжатия k , который для морской воды может быть выражен как функция от t° — температуры и $S^\circ/\text{‰}$ — солености. Скорость звука увеличивается с температурой и глубиной, а также с увеличением солености.

Для определения скорости распространения звука в воде было предложено несколько эмпирических формул. Наибольшей распространенностью пользуются формулы Wood'a и Brown'a, а также Schumacher'a.

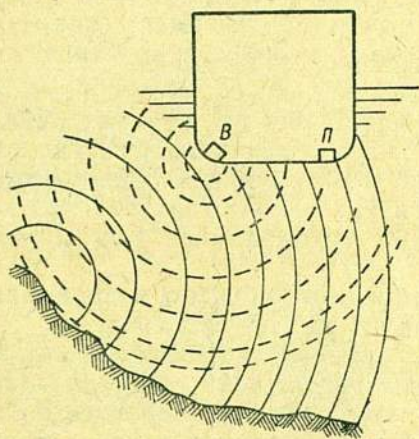


Рис. 1. В — вибратор; П — приемник.

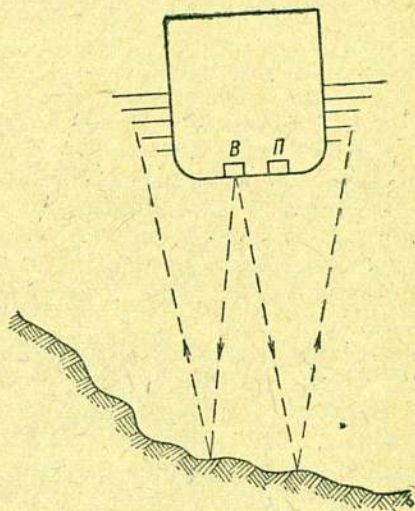


Рис. 2. В — вибратор; П — приемник.

Ниже мы приводим формулу Schumacher'a:

$$v = 1445 + 4,46t^\circ - 0,061t^{\circ 2} + (1,2 - 0,015t^\circ)(S - 35) \text{ м/сек.},$$

где v — скорость распространения звука в воде;

t° — температура воды в градусах Цельсия;

S — соленость в ‰ .

Опыты показывают также, что скорость распространения подводных звуковых колебаний не зависит от их частоты, а так как сигнализация и звуковое измерение глубин имеет много крупных преимуществ при применении ультразвуковых частот, то в настоящее время и перешли к использованию этих частот.

Вибраторы первых эхолотов работали на звуковой частоте, т. е. число колебаний их в секунду было менее 16 000. Звуковая волна распространяется в водной среде по сферическим поверхностям; следовательно, если судно, снабженное таким эхолотом, идя в шхерном районе моря, с резко меняющимся подводным рельефом, будет измерять глубину, то оно измерит не глубину под килем, а расстояние до ближайшей точки морского дна (рис. 1).

Установка звуковых вибраторов и приемников на корабле представляла значительные трудности, так как для нормальной работы эхолота необходимо было защищать приемник от непосредственного действия вибратора. Защита осуществлялась соответствующим выбором мест установок vibra-

тора и приемника и при неудачном выборе этих мест требовала повторения вновь всей работы, что обычно было сопряжено с новым вводом судна в док. Кроме того, на работу звуковых эхолотов влияют помехи, создаваемые, особенно на ходу корабля, посторонними шумами (работа винта и т. д.).

Этот недостаток звуковых эхолотов заставил конструкторов применить направленное излучение звуковой энергии, которое может быть легко осуществлено, если, как это выяснил проф. Langevin при конструировании своего пьезокварцевого эхолота, диаметр вибратора будет в несколько раз больше длины излучаемой им звуковой волны.

При такой конструкции почти 90% излучаемой энергии вибратора будет сосредоточено внутри конуса с отверстием 2α , где

$$\sin \alpha = 1,2 \frac{\lambda}{d},$$

если λ — длина волны и d — диаметр излучающей поверхности.

Из формулы видно, что чем меньше длина волны λ , т. е. чем больше частота, тем концентрированнее распространяется энергия, тем уже будет звуковой луч. Следовательно, увеличивая частоту излучаемой звуковой энергии вибратора, можно создать достаточно узкий звуковой луч, который будет направлен вертикально ко дну моря и тем самым получать эхо не от ближайшей точки, а от участка дна моря, находящегося под килем судна (рис. 2).

Отсюда вытекает необходимость устанавливать вибратор и приемник так, чтобы их излучающие поверхности были горизонтальны.

В эхолоте Langevin'a были применены явления пьезоэлектричества, которые, как известно, заключаются в следующем: если из кристалла кварца или турмалина вырезать пластинку, поверхности которой перпендикулярны одной из его электрических осей, обложить пластинку с двух сторон оловом, в виде обкладки конденсатора, и подать на эти обкладки переменное напряжение, то пластинка кварца или турмалина начнет изменять свой объем. Величина этих механических колебаний кристалла будет пропорциональна разности потенциалов, создаваемой на обкладках, и может быть выражена формулой:

$$l = R \cdot v,$$

где l — колебания кварцевой пластинки;

R — пьезоэлектрический модуль, для кварца равный $6,94 \cdot 10^{-8}$;

v — разность потенциалов на обкладках.

Проф. Кюри показал, что кварц или турмалин обладают и обратным свойством: если на обкладки такого конденсатора производить механические давления, то на них появится разность потенциалов, которая может быть усилена до желаемой величины.

Подсчеты показывают, что при частоте колебаний, равной 40 000 периодов в секунду, и при мощности в 1 ватт на квадратный сантиметр амплитуда колебаний объема пластинки кварца будет составлять около $5 \cdot 10^{-5}$ см. Наименьшая амплитуда колебаний соседней среды, которые своим давлением на кварц вызывают ток достаточной силы, чтобы заставить работать усилитель, — всего лишь около 10^{-8} см, т. е. движение каждой молекулы воды, находящейся в соприкосновении с кварцем, не превышает $\frac{1}{800}$ части размера самой молекулы.

Постройка подобных пьезоэлектрических вибраторов встретила значительные затруднения, так как кристаллов кварца большого размера

в природе не существует. Поэтому в вибраторах этого типа пластинки склеиваются из отдельных кусков кристаллов и зажимаются между двумя металлическими плитами (рис. 3).

Сложность устройства пьезокварцевых вибраторов и высокая стоимость их явились причиной того, что, несмотря на преимущества эхолотов с направленным излучением звуковой энергии, остались в употреблении и обыкновенные звуковые эхолоты.

В 1929 г. по заданию Английского адмиралтейства начал разрабатываться шлюпочный эхолот, в котором решено было, вместо существующих типов вибраторов, применить новый метод возбуждения ультразвуковой энергии. Работы эти велись весьма интенсивно в течение 4 лет и дали положительные результаты.

В качестве нового метода возбуждения ультразвуковой энергии было использовано явление магнитной стрикции.

Одним из эффектов магнитной стрикции является изменение объема некоторых ферромагнитных металлов, например никеля или кобальта, под влиянием переменного магнитного поля. Явления эти обратимы, т. е. если на ферромагнитный брусок металла, помещенный в магнитное поле, производить механическое давление, то он будет изменять свое магнитное состояние.

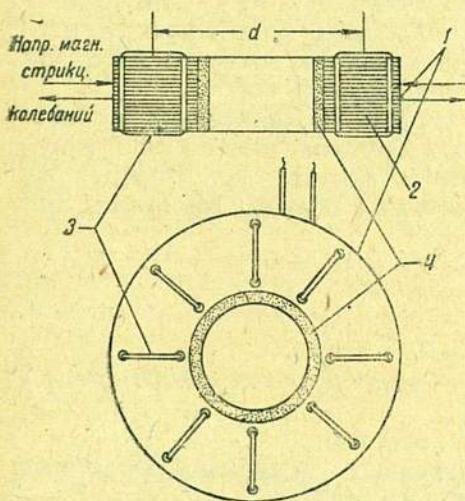


Рис. 4. 1 — излучающая поверхность; 2 — кольцеобразные кружки, штампованные из никеля; 3 — тороидальная обмотка; 4 — резина.

увеличивает. Наибольшее изменение объема происходит в продольном и поперечном сечении никелевого бруска. Если в переменное магнитное поле поместить целый брусок никеля, то его магнитоэлектрические свойства не будут так ярко выражены, так как в них будет участвовать только верхний слой металла и, кроме того, значительная часть энергии магнитного поля будет поглощаться на токи Фуко и на гистерезис. Поэтому никелевые вибраторы делаются из набора тонких

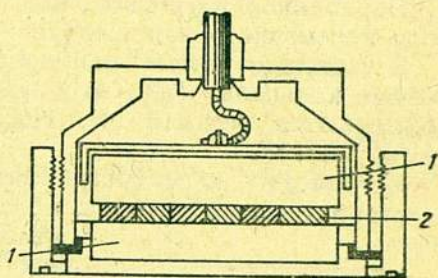


Рис. 3. 1 — стальные обкладки конденсатора; 2 — кварцевая мозаика.

Явления эти еще недостаточно изучены и до настоящего времени, однако накопленный опыт и теоретический материал позволили осуществить некоторые типы вибраторов и приемников, которые с большим успехом применяются в конструкциях эхолотов.

Наиболее эффективно магнитоэлектрические явления проявляются в никеле и кобальте. Но так как никель легче подвергается механической обработке, не боится коррозии и сравнительно дешев, то он и получил наибольшее распространение.

В переменном магнитном поле никель изменяет свой объем, причем в усиливающемся магнитном поле он уменьшает объем, а в уменьшающемся —

пластин толщиной в 0,3 мм, которые предварительно обжигаются и оксидируются.

Переменное магнитное поле создается обмоткой, питаемой от генератора переменного напряжения и вкладываемой внутрь никелевого пакета.

В настоящее время наибольшее распространение получили так называемые кольцевые (рис. 4) и полосовые вибраторы. Кольцевые вибраторы применяются фирмой „H. Hughes“, а полосовые — германской фирмой „Atlas Werke“.

Устройство магнитострикционных приемников совершенно одинаково с устройством вибраторов, но для большей чувствительности их необходимо время от времени подмагничивать, для чего через обмотку приемника пропускать мгновенный ток силой 30—40 ампер.

Обмотка как вибратора, так и приемника обычно разделена на две части, и в вибраторах она соединяется параллельно, а в приемниках — последовательно.

Для того чтобы вибратор обладал наибольшим коэффициентом полезного действия, частота его собственных колебаний должна быть вдвое больше частоты переменного напряжения, передаваемого в обмотку. Требуется также, чтобы частоты собственных колебаний вибратора и приемника эхолота были одинаковы, для чего пластины, из которых изготавливаются никелевые пакеты, берутся из одной партии и перетасовываются.

Собственная частота механических колебаний металлических брусков, дисков или колец довольно высока и может быть определена.

Для цилиндрического кольца, например, она определяется по формуле:

$$f = \frac{v_m}{\pi \cdot d} \text{ герц,}$$

где v_m — скорость распространения звука в металле (около 5000 м/сек.);
 d — средний диаметр кольца.

Если d , например, равно 10 см, то $f \cong 17000$ герц.

Отсюда заключаем, что частота собственных колебаний подобных металлических тел является ультразвуковой частотой.

Как указывалось выше, при измерении глубин методом эхо необходимо уметь регистрировать малые промежутки времени, и чем меньше измеряемая глубина, тем незначительнее и промежутки времени. На рис. 5 изображена схема непосредственного измерения глубин при помощи эхо, которая заключается в следующем: на корабле в днище у килевой балки устанавливаются отправитель звука A и приемник B . Расстояние между центрами отправителя и приемника, равное $2l$ в современных эхолотах, равно 2—3 м. Приемно-отправительная станция прибора, установленная в рулевой или штурманской рубке судна, возбуждает в отправителе A ультразвуковую энергию, которая, отразившись от дна в точке O , возвратится к судну и в виде эхо будет воспринята приемником B . Если через S обозначить глубину в месте измерения, через h — величину осадки

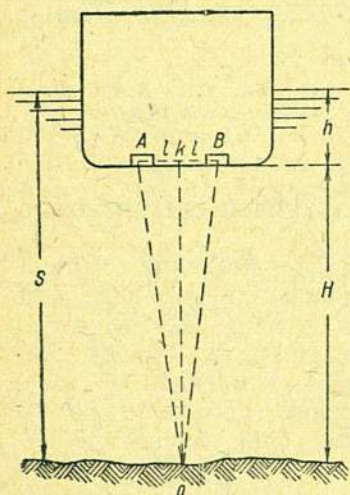


Рис. 5.

судна и через H — расстояние по вертикали от дна моря до отправителя звука A и приемника B , то можно написать:

$$S = H + h. \quad (1)$$

Из прямоугольного треугольника AKO имеем:

$$H^2 = AO^2 - l^2. \quad (2)$$

Но AO есть путь звука, скорость распространения которого в данном месте известна. Пусть скорость эта будет равна v . Тогда

$$AO = v \cdot t. \quad (3)$$

Подставляем в формулу (2) вместо AO его значение $v \cdot t$:

$$H^2 = v^2 t^2 - l^2, \quad (4)$$

откуда

$$H = \sqrt{v^2 \cdot t^2 - l^2}. \quad (5)$$

Подставив значение H в формулу (1), окончательно имеем:

$$S = h + \sqrt{v^2 \cdot t^2 - l^2}. \quad (6)$$

В этой формуле h и l постоянны, v определяется из наблюдений, время t регистрирует прибор. Так как t очень мало, то прибор регистрирует не само время, а некоторую функцию от него, которая может быть измерена с достаточной точностью, например вращение какого-либо диска или движение пера, причем моменты отправления сигнала и возвращения его обратно в виде эхо отмечаются либо в виде светового зайчика, либо в виде отметки движущимся пером на специально обработанной бумаге.

Если угол поворота диска или путь, проходимый пером в промежутки времени, подлежащие регистрации при измерении глубин, выразить на шкале в каких-либо мерах глубины, т. е. саженях или метрах, то на приборе можно будет отсчитывать непосредственно измеряемые глубины.

Следовательно, зная скорость распространения звука в воде в месте измерения, надлежит отрегулировать работу эхолота на эту скорость и отсчитать показание прибора.

Если скорость звука будет иной, чем та, на которую рассчитан эхолот, то формула (6) напишется так:

$$S_1 = h + \sqrt{v_1^2 t^2 - l^2}, \quad (7)$$

где S_1 — новая глубина, отсчитанная на приборе при новой скорости распространения звука в воде v_1 . Поправка ΔS может быть определена из следующих соображений:

$$S_1 - S = \Delta S = \sqrt{v_1^2 t^2 - l^2} + h - \sqrt{v^2 t^2 - l^2} - h.$$

Сокращая на h и заменяя $\sqrt{v^2 t^2 - l^2}$ через S , получим:

$$\Delta S = \sqrt{v_1^2 t^2 - l^2} - S. \quad (8)$$

Определим t^2 из формулы $S = \sqrt{v^2 t^2 - l^2}$:

$$t^2 = \frac{S^2 + l^2}{v^2}$$

и подставим его в формулу (8). Сделав преобразования, получим:

$$\begin{aligned}\Delta S &= \sqrt{\frac{v_1^2}{v^4}(S^2 + l^2) - l^2} - S; \\ \Delta S &= \sqrt{\frac{v_1^2}{v^2} S^2 + \frac{v_1^2}{v^2} l^2 - l^2} - S; \\ \Delta S &= \sqrt{\frac{v_1^2}{v^2} S^2 + l^2 \left(\frac{v_1^2}{v^2} - 1 \right)} - S.\end{aligned}\quad (9)$$

С уменьшением разности между v_1 и v величина

$$l^2 \left(\frac{v_1^2}{v^2} - 1 \right)$$

будет уменьшаться и станет незначительной по сравнению с

$$\frac{v_1^2}{v^2} S^2;$$

тогда

$$\Delta S = S \left(\frac{v_1}{v} - 1 \right),$$

где S — глубина, отсчитанная на приборе,

v — скорость звука, на которую рассчитан или установлен прибор, и

v_1 — действительная скорость звука.

Всякий эхолот, независимо от его конструкции, в своем комплекте имеет следующие основные части: 1) приемно-отправительную станцию, 2) отправитель звуковой энергии, 3) приемник и 4) источник питания всей установки.

Как показывает само название, приемно-отправительная станция служит для отправления сигнала и приема его в виде эхо.

Так как приходящий эхосигнал чрезвычайно слаб, то для регистрации его, в виде светового индикатора или отметки на бумажной ленте, необходимо предварительно усилить. Поэтому каждая станция эхолота имеет в своем составе ламповый усилитель, устройство которого ничем не отличается от усилителей, применяемых в радиотехнике.¹

Регистрирующее устройство обычно также помещают в корпусе приемно-отправительной станции. В первых образцах эхолотов регистратором служили обыкновенные телефонные наушники, соединенные через усилитель с приемником, но так как подобный способ регистрации обладает многими неудобствами, то вскоре перешли к другим методам, в связи с чем появились стрелочные эхолоты, эхолоты с вспыхивающей неоновой лампочкой и, наконец, эхолоты-самописцы, которые позволили не только измерять глубины, но и получать профиль дна моря под килем судна. Чувствительность этих приборов настолько велика, что позволяет определять характер и природу грунта. В настоящее время наибольшее распространение получили эхолоты со световым индикатором, в виде вспышки неоновой лампочки, и самописцы. Первые выпускаются, главным образом, фирмой „Atlas Werke“, вторые — фирмой „H. Hughes“.

¹ В пьезоэлектрических эхолотах, имеющих кварцевый излучатель, отправитель и приемник соединены в одном вибраторе.

Первая установка эхолота на судах Главсевморпути была произведена на л/п „Садко“ в 1935 г.

При выборе типа прибора руководствовались следующими соображениями

1) по конструкции эхолот должен быть таким, чтобы установка его на судне производилась без прорезания днища, так как подобная конструкция не будет ослаблять корпуса судна и не будет требовать ввода судна в док, и

2) эхолот должен иметь автоматическую запись глубин, что особенно важно при плавании в малоисследованных районах, каковыми являются районы по трассе Северного морского пути и при гидрографических работах.

Всем этим условиям удовлетворял эхолот фирмы „Н. Hughes“, почему он и был принят для снабжения ледокольных судов.

С момента установки первого эхолота прошло уже четыре года, и, как показала практика работы с этими приборами, они вполне оправдали себя и оказались надежными и точными приборами, требующими сравнительно небольшого ухода, а также весьма неприхотливыми в эксплуатации.

Хорошая работа эхолота на л/п „Г. Седов“ в 1936 г., позволявшая перевыполнить нормы промерных работ и облегчившая точность промера, привела к мысли установить эти приборы на гидрографических ботах Гидрографического управления Главсевморпути.

Для этой цели были применены эхолоты типа „MS-XII“, спроектированные специально для установки на малых судах, где ограниченные размеры штурманских и навигационных рубок не позволяют разместить эхолот нормального судового типа.

Установка этих приборов вначале вызывала некоторые трудности, так как устанавливаться они должны были на деревянных судах впервые в СССР. Разработку технических условий и общее руководство установкой взял на себя автор настоящей статьи, а проект крепления вибраторов в корпусе судна и наблюдение за работами, связанными с их установкой, выполнил капитан дальнего плавания т. Рябokonь (рис. 6 и 7).

В навигацию 1937 г. эхолоты были установлены на гидрографических ботах „Вест“ и „Проф. Визе“ и дали хорошие результаты.

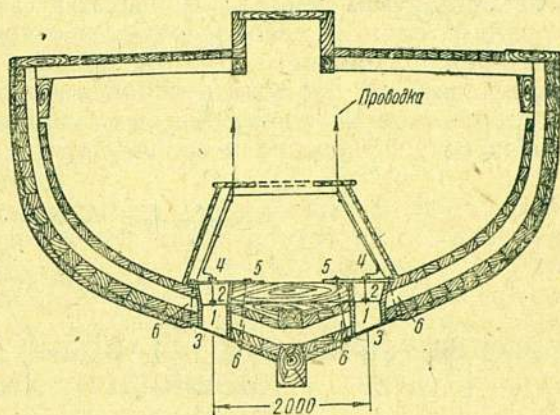


Рис. 6. Схема установки эхолота на деревянных судах. Сечение по мидель-шпангоуту.

1 — танки эхолота; 2 — шахта танка; 3 — нижний подкладочный железный лист; 4 — сальники для ввода пробы воды; 5 — верхний железный лист; 6 — оттягивающие болты.

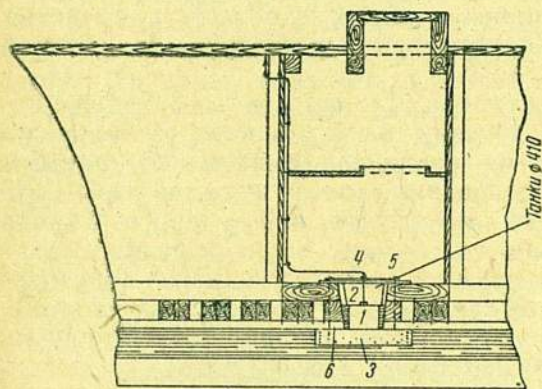


Рис. 7. Схема установки эхолота на деревянных судах. Продольный разрез по диаметральной плоскости.

Параллельно с установками эхолотов на судах, по инициативе Гидрографического управления Главсевморпути началось конструирование шлюпочного эхолота, который в том же 1937 г. был построен на одном из ленинградских заводов и испытан в экспедиции на л/п „Седов“ на промерных работах у Новосибирских островов. Положительные результаты испытаний шлюпочного эхолота, впервые созданного в Советском Союзе, могут и должны послужить основанием для серийного производства этих приборов, с целью внедрения их в практику промерных работ в мелко-водных бассейнах моря и на реках.

А. И. КРАСНОВ

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ УСТАНОВКИ НА КОРАБЛЕ МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ЭХОЛОТА ХЬЮЗ

Внедрение новой техники при производстве гидрографических работ, осуществляемое Гидрографическим управлением Главсевморпути, заставляет обратить внимание на установку некоторых приборов на морских и гидрографических судах.

Особенной популярностью среди гидрографов пользуются эхолоты, которые позволяют ускорить процесс измерения глубин, повышая этим эффективность гидрографических работ.

Эхолоты, благодаря быстрому совершенствованию их технических качеств и увеличению производственных возможностей, особенно за последние 5—6 лет, завоевывают все более и более широкую область применения и становятся необходимейшими приборами как для исследователя, так и для моряка.

Так как прибор этот является достаточно сложным и требующим умелого обращения не только при пользовании им в условиях плавания, но и при выборе места его установки на судне, мы считаем необходимым дать некоторые основные правила размещения эхолота на судне, тем более что вопрос этот не освещен в нашей литературе, а у судового состава может встретиться необходимость принять участие в его решении.

Наиболее распространенным типом эхолота, благодаря простой конструкции своих вибраторов и относительной несложности установки их на судне, является так называемый магнитоотриксционный эхолот, работающий на ультразвуковой частоте (около 20 000 колебаний в секунду).

Применение ультразвуковых частот дало возможность спроектировать прибор, который обладает направленностью излучения и позволяет, таким образом, измерять глубины, находящиеся под килем (в прямом положении корабля).

Комплект эхолота состоит из следующих частей:

1) Приемно-отправительная станция, часто называемая регистрирующим устройством.

Назначение приемно-отправительной станции, как показывает само название, состоит в том, чтобы через равные промежутки времени отправлять от днища судна через специальный ультразвуковой излучатель импульсы ультразвука, которые, отразившись от дна моря в виде эхо, возвратятся к кораблю и будут восприняты другим прибором (также установленным в днище судна), называемым приемником.

От приемника звуковое эхо, трансформируясь, попадет в приемно-отправительную станцию, где с помощью какого-либо индикатора укажет на шкале измеренную глубину. Индикаторами могут служить вспышка неоновой лампочки, движение пера на бумаге, делающего отметки против деления на линейке, движение стрелки и т. д.

2) Усилитель.

Усилитель предназначен для усиления отраженных от грунта слабых импульсов ультразвуков, которые регистрируются индикатором, установленным в приемно-отправительной станции.

3) Контактная коробка и реле.

Колебание отправителя ультразвуков в современных эхолотах осуществляется путем разряда электрического конденсатора на обмотку, вкладываемую в составленный из пластин никеля пакет. Чтобы это колебание было достаточно мощным, необходимо устройство, состоящее из дросселя (катушки самоиндукции с железным сердечником) и электрического конденсатора. Конденсатор может периодически заряжаться электрическим током от источника энергии и разряжаться на какое-нибудь внешнее сопротивление, в данном случае — через обмотку отправителя.

Контактная коробка реле выполняет переменные функции.

4) Питание усилителя.

Питание усилителя также может быть отнесено к отдельной части установки эхолота, так как в случае питания его от переменного тока требуется установка специальных приборов (преобразователя и выпрямителя низкого напряжения). Если же усилитель питается от батарей, то для нормальной и устойчивой работы эхолота требуются батареи определенного типа и установка их не может быть произведена без соблюдения некоторых предосторожностей.

5) Приемник и отправитель (вибраторы).

Как показывает само название, приборы эти служат: один — для приема ультразвуковых сигналов, а другой — для их возбуждения.

По наружному виду разницу между ними в некоторых типах эхолотов бывает трудно определить, так как они отличаются только способом включения обмотки, вложенной внутрь никелевого пакета, который выполняет роль вибратора.

В зависимости от типа эхолота в состав его комплекта могут входить еще некоторые детали, как то: зарядное устройство для зарядки аккумулятора, питающего накал ламп усилителя, водонапорный бачок с арматурой для создания давления в танках вибраторов, коробка намагничивания и т. д.

Надежная и правильная работа эхолота зависит от двух причин:

1) правильного выбора места размещения частей прибора на корабле и выполнения технических условий установки и

2) правильной регулировки прибора после установки его на судне.

Современные эхолоты, особенно проектируемые для использования их на коммерческих кораблях, являются настолько простыми в части управления ими (пуск, остановка и отсчет измеряемых глубин), что работы с ними не вызывают больших затруднений у судоводительского персонала. Если в эхолоте обнаруживаются дефекты во время эксплуатации, то эти дефекты обычно являются следствием либо неправильного размещения прибора, либо несоблюдения технических условий при установке.

Отыскание и устранение неисправностей в эхолоте являются делом довольно сложным, а иногда и невыполнимым в море, когда трюмы судна загружены и нет возможности проникнуть ко всем частям установленного

эхолота, например к вибраторам. Кроме того, судовой состав обычно не настолько квалифицирован, чтобы взять на себя ответственность за ремонт прибора, и вынужден, в случае неисправной работы, прекращать пользование им до прихода в порт.

Надлежащее размещение эхолота на судне и добросовестное выполнение основных технических условий установки гарантируют до некоторой степени исправную и продолжительную работу прибора, почему и необходимо этим вопросам уделять самое серьезное внимание.

На рис. 1 показано расположение частей магнитострикционного эхолота английской фирмы „Н. Hughes“ (Хьюз). Эти приборы хорошо известны нашим гидрографам и судоводителям, поэтому описание установки их на судне представляет для них известный интерес.

При выборе места размещения частей эхолота на корабле следует в первую очередь обращать внимание на то, чтобы ко всем частям в любое время был обеспечен свободный доступ (за исключением танков вибраторов — отправителя и приемника, — которые устанавливаются в днище судна).

Так как доступ к танкам, когда судно находится под грузом, будет закрыт, то при установке этих частей следует обратить особое внимание на тщательность работ по установке их и соблюдение всех технических правил, для того чтобы в случае неисправной работы эхолота неисправность искать не в танках вибраторов, а в других частях.

Танки вибраторов устанавливаются в днище судна, в между-

донном пространстве, и доступ к ним, производимый через горловину, вырезаемую в настиле верхнего дна, в обычное время должен быть закрыт водонепроницаемой крышкой на болтах или задрайках.

Магнитострикционный эхолот, благодаря направленности действия излучаемой ультразвуковой энергии, измеряет глубины непосредственно под днищем судна. Поэтому танки вибраторов выгоднее располагать ближе к носовой части судна, а не к кормовой.

Кроме того, танки должны быть устанавливаемы в таком месте, чтобы вблизи их во время хода судна не создавалось завихрений воды, т. е. они должны быть по возможности удалены от всяких приемных и водоотливных отверстий в корпусе судна, а также от выступающих частей его в виде боковых килей. Так как приемные и водоотливные отверстия тоже большей частью находятся в средней или кормовой части, то это подтверждает мысль о том, что танки вибраторов следует располагать в носовой части судна.

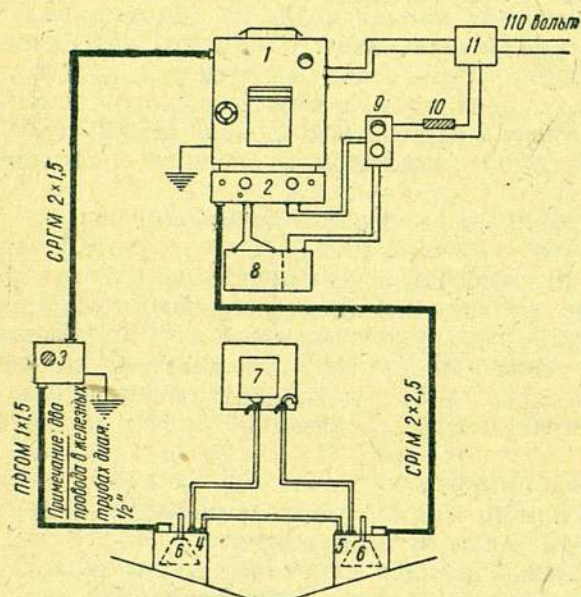


Рис. 1. Монтажная схема магнитострикционного эхолота Хьюз.

1 — приемно-отправительная станция; 2 — усилитель; 3 — контактор; 4 — танк отправителя; 5 — танк приемника; 6 — рефлексоры вибраторов; 7 — водонапорный бачок; 8 — батарея питания; 9 — зарядный щиток; 10 — зарядное сопротивление; 11 — распределительная коробка судовой сети.

Наиболее удобным местом для установки танков на обыкновенном грузовом судне следует считать район между передней мачтой и мостиком судна, где всегда можно выбрать такое расположение их, что доступ к ним не будет очень затруднителен (рис. 2).

Исключение в этом отношении представляют нефтеналивные суда, где танки вибраторов приходится выносить чаще всего в нос судна, а иногда

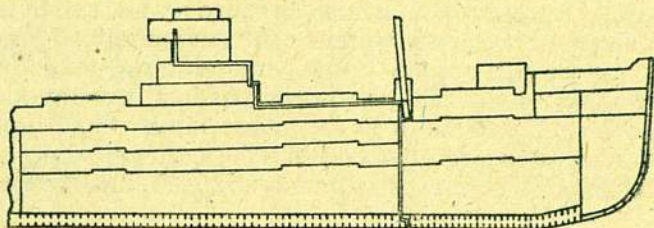


Рис. 2.

ставить их даже в фортеке. Место это нельзя считать удобным, так как на волне при килевой качке, благодаря доступу воздуха к месту установки танков, эхолот будет работать с перебоями (рис. 3).

Установка танков в кафердамах, хотя и представляет значительные удобства, совершенно недопустима, так как авария в проводке эхолота может вызвать искру, которая, воспламенив пары нефтяных продуктов, находящиеся в том или ином количестве в кафердамах, может повлечь взрыв.

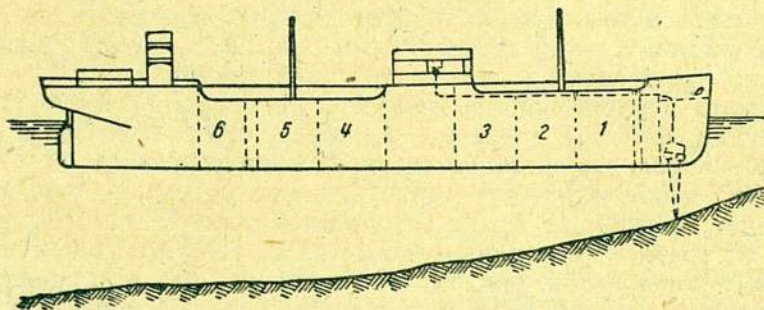


Рис. 3.

Не менее важным вопросом, чем выбор места установки танков, является выбор расстояния между танком отправителя и танком приемника. У современных магнитострикционных эхолотов это расстояние должно быть от 2 до 3 м.

На рис. 4 и 5 показано примерное расположение танков на судне, причем на рис. 5 танки поставлены в одной шпации. Если по условиям размещения танков установить их в одной шпации неудобно, то установку можно делать в двух соседних шпациях, не забывая, однако, при этом, что расстояние между танками должно быть таким, как указано выше, и, кроме того, что танки должны быть расположены по обеим сторонам киля, т. е. с правого и левого бортов.

Различий в установке танков отправителя или приемника эхолота не существует, а потому неважно, который из танков будет выполнять ту или иную функцию.

Само место установки танков должно быть отделено от остального междудонного пространства специальной выгородкой, которая также должна обеспечивать водонепроницаемость. Для обеспечения водонепроницаемости лаза в шпангоутах заделываются, а швы надежно провариваются или прочеканиваются. Кроме того, между шпангоутами, где будут установлены танки, необходимо установить поперечные глухие переборки, швы которых должны быть также тщательно проварены или прочеканены.

Когда выгородки для танков будут готовы, их опробывают на водонепроницаемость давлением в 2—3 атмосферы. Если при пробе будет замечено, что выгородка пропускает влагу, следует еще раз прочеканить или проварить швы и добиться полной водонепроницаемости.

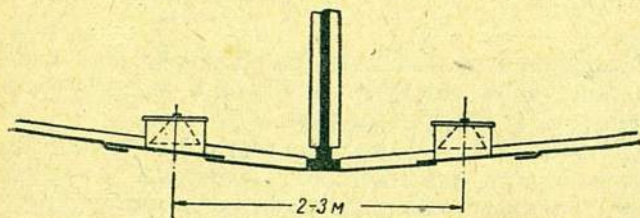


Рис. 4.

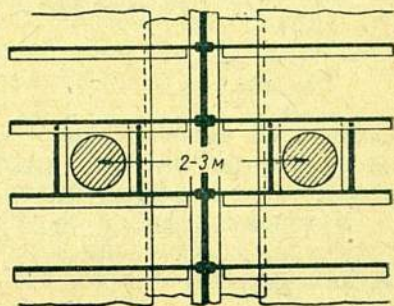


Рис. 5.

Убедившись в том, что выгородки сделаны надежно и крышка, закрывающая горловину, также не пропускает воды, в случае проникновения ее на второе дно, приступают к установке самих танков.

Вибраторы эхолота фирмы Хьюз для установки не требуют прорезания днища судна, а следовательно, и ввода его в док. Связь с забортной водой вибраторов осуществляется через корпус судна.

Для того чтобы связь эту сделать более надежной, а работу эхолота эффективной, место, где будет установлен танк, должно быть тщательно очищено от грязи и ржавчины — до металла. Танк должен устанавливаться на главной поверхности листа, не имеющей шва или заклепок на всей поверхности, с которой танк соприкасается (рис. 4 и 6).

Когда подготовлено место для установки, танк обрабатывается по форме обвода корпуса судна в месте установки так, чтобы крышка его, которая крепится к корпусу тремя болтами, была горизонтальна. Это — одно из важнейших требований, предъявляемых конструкцией прибора. Неисполнение его влечет неправильное показание глубин эхолота.

После обработки танка и пригонки по месту, его тщательно приваривают к днищу судна, а для того чтобы убедиться, что работа выполнена исправно, прессуют керосином, и если появится хотя малейшая неуверенность в том, что танк в месте сварки пропускает влагу, еще раз проваривают или прочеканивают сомнительные места.

Установив танки, приступают к монтажу самих вибраторов. Вибратор представляет собою цилиндр, собранный из никелевых пластин толщиной 0,3 мм. Внутри этого цилиндра вложена обмотка из провода, концы которой выведены наружу. Никелевые цилиндры, или, как их чаще называют,

пакеты, укрепляются с помощью резиновых прокладок и шайб на специальном штоке, на котором укреплен так называемый рефлектор, или зонт, служащий для направления излучаемой вибраторами ультразвуковой энергии (рис. 7).

Рефлектор этот имеет двойные стенки, между которыми проложен слой резины, не позволяющий излучаемой энергии рассеиваться.

Пакеты вибраторов должны быть плотно насажены на шпонки и исключать возможность вибрации при ходе судна, так как в противном случае, при работе эхолота, на указателе глубин будут появляться помехи, которые могут ввести в заблуждение наблюдателя.

Штоки вместе с укрепленными на них пакетами и рефлекторами укрепляются в крышке танка при помощи специального сальника и зажимной гайки.

Перед опусканием в танки собранных вибраторов танки необходимо заполнить до верха пресной водой с глицерином в пропорции 80% воды и 20% глицерина. Глицерин добавляется в воду для предохранения от замерзания при плавании судна в высоких широтах.

Провода (концы) от обмотки вибраторов, через специальные отверстия в рефлекторах и крышке танка, выводятся через сальники в соединительную коробку, которая крепится также на крышке танка.

Как указывалось выше, по наружному виду пакеты отправителя и приемника совершенно одинаковы, если эхолот рассчитан на средний диапазон глубин (до 300 м), и поэтому при установке и монтаже безразлично—какой пакет ставить на место отправителя или приемника.

У эхолотов же, рассчитанных на измерение больших глубин (до 1000 м и больше), пакеты вибраторов по наружному виду несколько отличаются, а именно: пакет отправителя по размеру больше пакета приемника и имеет четыре выведенные наружу конца обмотки, а не два, как у приемника. Объясняется это тем, что в отправителе обмотки соединены параллельно, а в приемнике—последовательно. Для того чтобы при монтаже и включении не смешать концов обмоток, они либо связываются попарно (в отправителе), либо отмечаются бирками.

После установки крышек танков с закрепленными на них и собранными вибраторами следует отрегулировать расстояние, на котором рефлекторы будут находиться, от днища судна. Для этого, отдав гайку, крепящую шток вибратора, опускают шток до соприкосновения рефлектора с днищем судна, после чего приподнимают его на 1,5—2 см и в таком положении занимают гайкой.

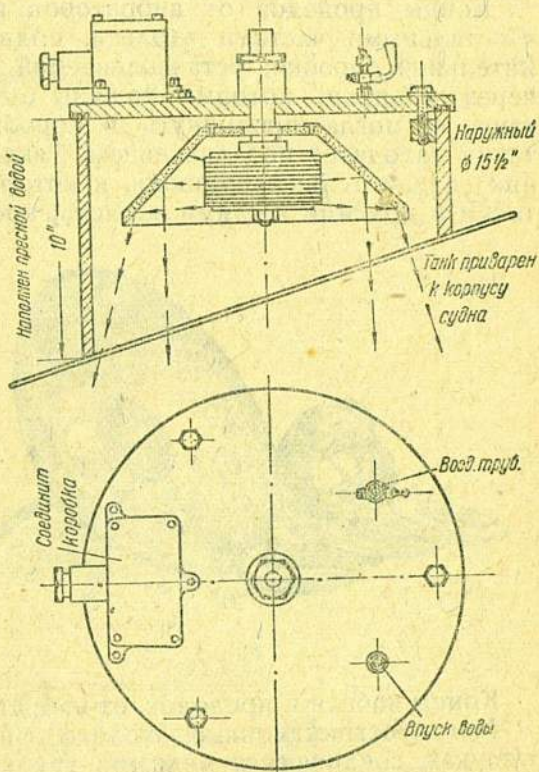


Рис. 6. Магнитострикционный излучатель-приемник.

Крышка танка крепится тремя болтами, которые входят в специальные кронштейны, приваренные на внутренней стороне танка. Крышка снабжена резиновой прокладкой, врезанной в корпус, которой она прижимается к танку, когда болты зажаты. При установке крышки следует обратить внимание на то, чтобы болты равномерно прижимали крышку к корпусу танка и не создавали перекоса.

Концы проводов от вибраторов и кабеля, соединяющего вибраторы с остальными частями эхолота, подводятся к водонепроницаемой соединительной коробке, устанавливаемой на крышке танка. Концы проходят через сальники, которые должны быть хорошо обжаты, чтобы влага из танка не могла проникнуть в коробку, а это тем более возможно, что танки находятся под давлением. Также хорошо должен быть обжат сальник соединительной коробки, к которому проходит кабель, соединяющий танки с другими частями эхолота; кроме того, необходимо, чтобы кабель

подходил к сальнику коробки снизу, так как замечено, что со временем влага по освинцованной оболочке кабеля может проникать в коробку и ухудшать изоляцию проводов.

В коробке провода соединяются фарфоровыми соединительными муфтами.

Чтобы гарантировать полную влагонепроницаемость соединительных коробок, после соединения концов их необходимо залить парафином и плотно закрыть крышками.

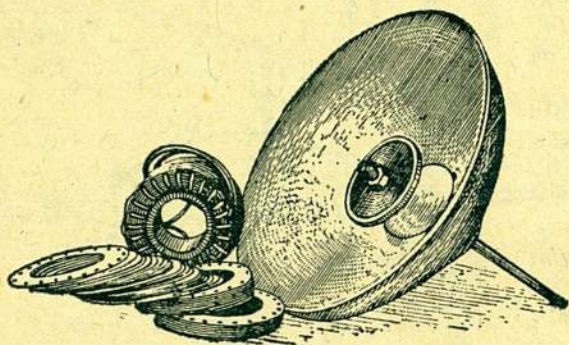


Рис. 7.

Концы кабеля и проводов от вибраторов не следует обрезать коротко.

Магнитострикционные эхолоты, вибраторы которых устанавливаются в танках, соединяются медными трубками диаметром в 0,25 дюйма. Кроме того, один из танков трубкой такого же диаметра соединяется с водонапорным баком емкостью 1—1,5 л, который устанавливается в помещении, доступном в любое время. Другой танк соединяется трубкой, имеющей свободный доступ в атмосферу. Обычно конец этой трубки выводится в помещение, где установлен водонапорный бак (рис. 8).

Трубки к танкам подводятся через переборки отсеков, в которых стоят танки; так как отсеки эти должны быть водонепроницаемы, то трубки должны проходить в них через сальники.

Убедившись в том, что все вышеперечисленные работы по размещению и установке танков выполнены хорошо, приступают к монтажу и соединению остальных частей прибора.

Одной из таких частей эхолота является контактор, цель которого, как указывалось выше, создавать импульсы тока высокого напряжения.

Во избежание потерь в линии передачи от контактора к танку отправителя расстояние это должно быть по возможности минимальным и для эхолотов фирмы Хьюз и не превышать 13 м. А так как контактор должен быть устанавливаем в таком месте судна, куда в любое время возможен доступ, то выбор места установки танка отправителя до известной степени определяется местом установки контактора.

Контактор, заключенный в металлическую коробку, надежно крепится

к переборке и на ходу судна не должен иметь вибраций. Корпус контактной коробки заземляется, для чего у нее имеется специальный зажим.

Если по условиям расположения контактор приходится устанавливать в помещении, где будет сырость или пыль, то его следует заключать в съемный деревянный ящик.

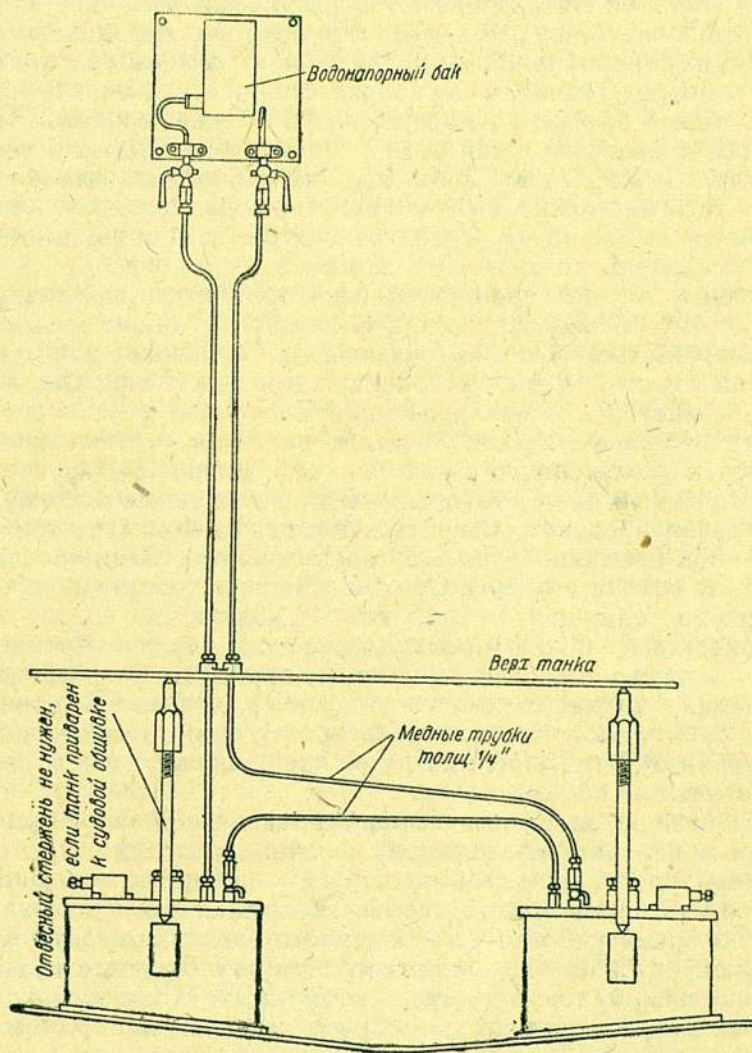


Рис. 8. Схема проводки от водонапорного бака к излучателю и приемнику.

Никогда не следует забывать, что, вскрывая контактор во время работы эхолота, необходимо следить за тем, чтобы линия высокого напряжения была разомкнута, так как в противном случае при неосторожном обращении можно получить тяжелое ранение. Во избежание этого крышка контактора снабжена автоматическими размыкателями, прерывающими линию высокого напряжения при вскрытии контактора. Если в контакторе надо произвести какие-либо работы или переделки, то лучше делать это при разомкнутой внешней цепи, т. е. при неработающем эхолоте.

Обычно контакторная коробка и водонапорный бак устанавливаются в одном помещении, так как при сосредоточении частей в одном месте облегчаются наблюдение и уход за ними.

Приемно-отправительная станция обычно устанавливается в штурманской рубке в таком месте, чтобы штурман, находясь на мостике, мог, не заходя в рубку, видеть отсчет прибора. Если же подходящего места выбрать нельзя, то станцию устанавливают в любом удобном месте.

При установке станции следует помнить, что она должна быть хорошо закреплена на переборке. Ввиду сравнительно большой ее тяжести (60—70 кг) крепить непосредственно к переборке станцию нельзя, а необходимо установить дубовые брусья, на которых уже можно крепить станцию.

Станция, также как и контактор, должна быть хорошо заземлена.

Усилитель помещается либо под приемно-отправительной станцией, либо сбоку в расстоянии 1—2 м. Его установка зависит от конструкции прибора и места установки. Также как контактор и приемно-отправительная станция, усилитель должен быть заземлен.

Заземление частей прибора и некоторой части проводки в установке эхолота играет большую роль, так как позволяет таким простым и дешевым способом избавиться от помех, создаваемых судовыми электро- и радиосетями и тем самым получить устойчивую и надежную работу всего прибора.

Если питание усилителя производится от батарей, последние устанавливаются вблизи усилителя с таким расчетом, чтобы провода, идущие от батарей к усилителю, не были слишком длинны. Батареи обычно заключены в отдельный ящик, который имеет выведенные наружу клеммы для присоединения проводов. Ставить ящик прямо на палубу не рекомендуется во избежание проникновения в батареи сырости, что значительно ухудшает их работу и сокращает срок службы. Ящик с батареями ставят на деревянные рейки толщиной 4—5 см или на полку.

Не менее тщательно и продуманно должна быть выполнена проверка кабелей, соединяющих отдельные части прибора. В практике зарегистрировано немало случаев, когда небрежно выполненная проводка сильно ухудшала работу эхолота и дискредитировала его в глазах судового состава.

Иностранные фирмы рекомендуют специальные кабели для соединения приборов между собой.

Это требование имеет известное основание, так как фирмы поставляют специальные кабели с повышенной изоляцией, которые требуют меньшего ухода и при прокладке которых могут быть приняты меньшие меры предосторожности в целях предохранения эхолота от помех.

Если во время ремонта установленного эхолота придется менять кабель и под рукой не окажется импортного, то это обстоятельство отнюдь не должно смущать судовой состав, так как импортные кабели вполне заменимы нашими, если только они будут проложены с соблюдением всех технических условий.

Особенностью прокладки кабелей эхолота является следующее: 1) прокладка их должна производиться отдельно, в расстоянии не менее 0,5 м от любых кабелей и в любом месте судна, 2) если кабель пересекает другие кабели, то пересечение это должно быть сделано под прямым углом и 3) кабель от приемника и кабель от отправителя нигде не должны проходить ближе 2 м один от другого.

В остальном прокладка кабелей выполняется согласно правилам Регистра СССР и существующим положениям.

Проводка эхолота может быть разбита на следующие цепи:

1) цепь отправителя, 2) цепь приемника и 3) цепь питания усилителя.

В цепь приемника, как промежуточное звено, входит контакторная коробка (рис. 1), которая делит ее на две части: от приемно-отправительной станции до контакторной коробки и от коробки до отправителя.

От приемно-отправительной станции до контакторной коробки ставится кабель марки СРГМ $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$ (одна жила запасная). Специальных требований к прокладке этого кабеля не предъявляется.

Контакторная коробка далее соединяется с приемником двумя кабелями марки ПРГОМ $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$, причем оба кабеля идут отдельно в железных трубах диаметром $\frac{1}{2}$ дюйма. Кабели не должны иметь каких-либо промежуточных соединений.

Кабель ПРГОМ можно заменить проводом магнето ПМ, также заключенным в железную трубу. Надежное заземление железных труб у контактора и танка отправителя будет способствовать устойчивой работе эхолота. Кроме того, при прокладке кабелей в трубах следует обратить особое внимание на то, чтобы отверстия труб были плотно закрыты и в них не могла бы проникнуть влага.

Приемник эхолота соединяется с усилителем кабелем марки СРГМ $2 \times 2,5 \text{ мм}^2$. Это — наиболее ответственная часть проводки эхолота, так как кабель этот должен передавать на усилитель только трансформированную энергию приемника, свободную от всяких помех, которые могут попасть извне от посторонних электрических цепей. Если при пробном пуске прибора обнаружится, что в эхолоте наблюдаются помехи, то наиболее вероятной причиной возникновения этих помех следует считать неудачную прокладку кабеля, соединяющего приемник с усилителем. Самым простым и рациональным способом избавления от помех, как указывалось выше, является заземление оболочки кабеля в нескольких промежуточных точках (кроме его концов). Если же это не помогает, может возникнуть необходимость перенесения кабеля в другое место.

Проводка цепей питания усилителя, если питание его производится от батарей, никаких особых забот не вызывает.

На рис. 1 показана монтажная схема английского магнитострикционного эхолота фирмы Хьюз, описание установки которого дано выше. Но само собой разумеется, что основные технические требования установки эхолота, изложенные в настоящей статье, будут применимы и к другим типам этих приборов, с изменением только в деталях, в зависимости от конструкции прибора и от типа судна, на котором прибор устанавливается.

С выбором места размещения частей эхолота на корабле и монтажом этих частей работа установщика не кончается, так как прибор надо не только установить, но и сдать судовому составу в рабочем состоянии, а для этого необходимо проверить и отрегулировать взаимодействие его частей.

Стоя у стенки или у борта другого судна, нельзя получить правильного представления о работе эхолота, так как звуковая энергия, отразившись от дна, вместе с тем будет обращаться и от окружающих предметов (стенка, днище и борт соседнего судна и т. д.) и вызовет на регистраторе ряд помех, которые могут быть настолько сильны, что заглушат основное эхо.

Поэтому проверка работы и регулировка эхолота должны производиться на открытом месте. Наиболее благоприятным для этого и будет открытый рейд с глубинами 15—20 м и песчаным дном.

Судно становится на якорь, и с борта его, в том месте, где установлены вибраторы, измеряют возможно точнее глубину. Одновременно с измерением глубины ручным лотом, измеряют ее эхолотом, и, если показания расходятся, регулируют эхолот так, чтобы показания его в точности совпадали с показанием ручного лота.

Регулировка эхолота заключается в следующем:

1) Исполнительный мотор, который приводит в движение части регистрирующего устройства, должен делать определенное число оборотов (1800 об/мин. или 2200 об/мин. для эхолотов Хьюз, в зависимости от типа прибора). Число оборотов мотора обозначено на металлической дощечке, прикрепленной к мотору, которая является его паспортом.

Регулировка производится с помощью регулятора мотора.

2) Движение пера должно соответствовать работе остальных частей прибора, а именно: в момент прохождения пером нулевого деления шкалы на бумажной ленте регистратора перо делает отметки нулевой линии, а через промежутки времени, равные одной минуте, перо на нулевой линии делает отметки минут.

В момент прохождения пером деления на линейке, соответствующего величине осадки судна, перо должно сделать вторую отметку, которая появляется на ленте регистратора как результат действия отправителя на приемник.

Если исполнительный мотор держит число оборотов постоянным, то обе эти линии на ленте регистратора будут параллельны.

Вторая линия носит название линии осадки судна.

Нулевая линия и линия осадки судна появляются на ленте регистратора под действием сухих батареек, установленных в регистраторе и усилителе и работающих в момент замыкания коммутаторов.

3) Ширина и четкость линий, вычерчиваемых на ленте регистратора пером, зависят от напряжения тока, который подается к перу в момент прохождения его через соответствующее деление на линейке регистратора. Для нормального действия пера напряжение это должно быть около 4 вольт.

Кроме того, четкое изображение линии глубины зависит также от настройки усилителя, которая может меняться с помощью переменного конденсатора, введенного в приемный контур усилителя, к рукоятке которого имеется доступ через отверстие, закрытое металлической пробкой, с левой стороны усилителя.

Для облегчения регулировки прибора и наблюдения за его работой приемно-отправительная станция снабжена следующими измерительными приборами:

- 1) вольтметром судового тока, с показаниями около 110 вольт,
- 2) вольтметром накала ламп усилителя, с показаниями 1,85—2,0 вольта и
- 3) миллиамперметром, показания которого должны колебаться в зависимости от измеряемых глубин, от 4—6 ма—при малых глубинах до 8—10 ма—при больших.

Так как в зависимости от природы грунта изменяется интенсивность принимаемого прибором отраженного сигнала и регистрация им глубин в некоторых случаях может дать недостаточно рельефные отметки и так как при работе усилителя на полную мощность и измерении малых глубин прибор будет регистрировать повторные отраженные сигналы, — для получения четкой записи в усилителе имеется специальный регулятор, рукоятка которого выведена слева на передней доске усилителя и снабжена надписью „мелко“ и „глубоко“.

При умелом обращении с прибором и хорошей регулировке его эхолот даст не только непрерывный ряд глубин, но и рельеф дна, а по интенсивности и форме записи отраженного эхо можно судить и о характере грунта.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ НАХОЖДЕНИЯ ШИРОТЫ И ДОЛГОТЫ ВЗАМЕН ГРАФИЧЕСКОГО В ПРИЕМЕ СЕНТ-ИЛЕРА

При определении места судна в открытом море по способу Сомнера прокладка Сомнеровых линий на меркаторских картах производится методом Сент-Илера и обсервованное место ($\varphi_{об}$ и $l_{об}$) получается графически в пересечении Сомнеровых линий. При этом получаются ошибки: 1) от погрешности в разности ($h_{об} - h_{сч}$); 2) от погрешности в азимуте (A); 3) от прокладки азимутов и Сомнеровых линий прямыми линиями, тогда как они являются дугами больших и малых кругов, которые на меркаторских картах изображаются кривыми; 4) от графических ошибок самой прокладки, так как чем мельче масштаб, тем труднее откладывать величины ($h_{об} - h_{сч}$). В последнем случае прокладку Сомнеровых линий рекомендуется делать на отдельной клетчатой бумаге, на которой построением получают РШ и РД.

Мною ниже предлагается взамен графического аналитический способ нахождения $\varphi_{об}$ и $l_{об}$, который исключает ошибки при прокладке, так как полностью заменяет прокладку вычислением.

Способ этот заключается в следующем.

Получив вычислением $h'_{об} - h'_{сч}$ и $h''_{об} - h''_{сч}$, а также азимуты A_1 и A_2 двух звезд или солнца при двух наблюдениях, находим разность азимутов:

$$f = A_2 - A_1. \quad (1)$$

Затем определяем угол α ($K_1 f f_0$) (рис. 1). Из чертежа имеем:

$$d = a_1 \sin f; \quad c = a_1 \cos f; \quad b = a_2 - c; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{d}{b}.$$

Так как углы fK_1f_0 и fK_2f_0 прямые и имеют одну общую сторону ff_0 (S_0) — гипотенузу, то последняя является диаметром окружности, в которую вписана вся фигура $fK_1f_0K_2f$. Отсюда $\angle K_1f_2f_0 = \angle \alpha$. Но $\angle K_1K_2f_0 + \beta = 90^\circ$. Следовательно, $\alpha + \beta = 90^\circ$, откуда $\beta = 90^\circ - \alpha$. Поэтому вместо $\operatorname{tg} \beta$ мы можем написать:

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{d}{b}.$$

Подставляя в эту формулу полученные величины, получаем:

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{a_1 \sin f}{a_2 - a_1 \cos f}. \quad (2)$$

В этой формуле, принимая a_1 за плавание и f — за курс, по табл. 34² находим числитель в столбце Отш, а вторую часть знаменателя в столбце РШ:

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{\begin{smallmatrix} \text{пл. к} \\ a_1 \sin f \end{smallmatrix}}{\begin{smallmatrix} a_2 - \\ \text{пл. к} \end{smallmatrix} a_1 \cos f} = \frac{\text{Отш}}{a_2 - \text{РШ}}.$$

Решая эту формулу простыми арифметическими действиями,³ получаем натуральную величину $\operatorname{ctg} \alpha$, а по ней и самый угол α .

¹ Б. П. Хлюстин, Мореходная астрономия, 1939.

² Мореходные таблицы, 1933.

³ Вычисление упрощается при пользовании арифмометром или логарифмической линейкой.

11. $\varphi_{об}$	=	$35^{\circ}15',8 \text{ N}$
12. Отш	(табл. 34)	3,56
13. РД	(табл. 35)	$4',3 \text{ к W}$
14. $l_{сч}$	=	$76^{\circ}30',0 \text{ W}$
15. $l_{об}$	=	$76^{\circ}34',3 \text{ W}$

Частные случаи способа Сомнера.

Предлагаемый аналитический прием взамен графического с успехом может быть применен также и в частных случаях способа Сомнера. Решение задач может производиться так же, как и в общем случае, принимая РШ ($\varphi_{об} - \varphi_{сч}$) за a , а азимутом при этом будет меридиан счислимой точки и будет $N = 0^{\circ},0$, если РШ к N, или $S = 180^{\circ}$, если РШ к S.

Но так как при этом требуется определить графически только долготу обсервованного места, то нахождение ее может быть произведено также и аналитически.

Из рис. 2 имеем:

$$\begin{aligned} 1) b &= a_1 \cos f; & 3) c &= a_2 - b; & 5) \text{ Отш} &= y - x. \\ 2) y &= a_1 \sin f; & 4) x &= c \operatorname{ctg} f; \end{aligned}$$

Подставляя в последнее равенство полученные величины, получаем:

$$\begin{aligned} \text{Отш} &= a_1 \sin f - (a_2 - b) \operatorname{ctg} f; \\ \text{Отш} &= a_1 \sin f - a_2 \operatorname{ctg} f + a_1 \cos f \operatorname{ctg} f \text{ умножим на } \sin f; \\ \text{Отш} \sin f &= a_1 \sin^2 f - a_2 \cos f + a_1 \cos^2 f; \\ \text{Отш} \sin f &= a_1 (\sin^2 f + \cos^2 f) - a_2 \cos f; \\ \text{Отш} &= a_1 - a_2 \cos f, \end{aligned}$$

отсюда

$$\text{Отш} = \frac{a_1 - a_2 \cos f}{\sin f}.$$

Подставляя соответствующие обозначения, получаем окончательно:

$$\text{Отш} = \frac{(h_{об} - h_{сч}) - (\varphi_{об} - \varphi_{сч}) \cos f}{\sin f}.$$

Здесь, принимая $(\varphi_{об} - \varphi_{сч})$ за плавание и f — за курс, по табл. 34 находим в столбце РШ величину $(\varphi_{об} - \varphi_{сч}) \cos f$. Знаменатель $\sin f$ берем из табл. 5.

По отшествию и обсервованной широте ($\varphi_{об}$) находим РД по табл. 35, а затем и самую долготу.

Пример 2. Дано:

$$\begin{aligned} \varphi_{об} &= 59^{\circ},8 \text{ N} & l_{сч} &= 2^{\circ} - 30',0 \text{ O} \\ h_{об} - h_{сч} &= + 4',7 & A_1 &= \text{SO} - 81^{\circ},8 = 98^{\circ},2 \\ S_{об} - S_{сч} &= 10',6 \text{ к S} & A_2 &= \text{S} = 180^{\circ},0 \\ & & f &= A_2 - A_1 = 81^{\circ},8. \end{aligned}$$

Формулы:

$$\text{Отш} = \frac{(h_{об} - h_{сч}) - (\varphi_{об} - \varphi_{сч}) \cos f}{\sin f} = \frac{4,7 - 10,6 \cos 81^{\circ},8}{\sin 81^{\circ},8} = \frac{4,7 - \text{табл. 34 (РШ)}}{\text{табл. 5}}.$$

1. $(\varphi_{об} - \varphi_{сч}) \cos f$	(табл. 34)	1,5
2. $(h_{об} - h_{сч}) - (\varphi_{об} - \varphi_{сч}) \cos f$		3,2
3. $\sin f$	(табл. 5)	0,99
4. Отш	2:3	3,2
5. РД	(табл. 35)	$6',4 \text{ к O}$
6. $l_{сч}$	=	$2^{\circ} - 30',0 \text{ O}$
7. $l_{об}$	=	$2^{\circ} - 36',4 \text{ O}$

Если разность азимутов (f) близка к 90° (т. е. $88-92^{\circ}$) и широта определена по H светила или по h Полярной, то задача определения долготы упрощается, так как разность $(h_{об} - h_{сч})$ другого светила равна отшествию.

Предлагаемый аналитический способ вывода $\varphi_{об}$ и $l_{об}$ в приеме Сент-Илера не устранил погрешностей в разности $(h_{об} - h_{сч})$ и в азимуте (A), но он полностью заменяет прокладку вычислением и не зависит от масштаба карт.

П. Н. Яльцев

БЕЗ ЗВЕЗДНОГО ВРЕМЕНИ

В своей статье Н. А. Фохт излагает предложенный им еще более 30 лет тому назад способ вычисления звездных наблюдений в практике мореходной астрономии, без звездного времени.

Аналогичный метод, предложенный лейтенантом Джинрич в США в 1929 г., принят в штурманской практике американской авиации; издающиеся в США эфемериды Джинрича сокращают вычислительную схему при решении астрономических задач и позволяют вовсе не применять термины „звездное время“, „прямое восхождение“, „звездный промежуток“.

Таким образом, приоритет в этом методе принадлежит Фохту, и его предложение не нашло широкого практического применения лишь потому, что в тогдашней России вообще не издавалось каких-либо астрономических ежегодников, и Фохту пришлось приспособить свой метод к английскому ежегоднику.

В настоящее время, когда, наряду с предложением Фохта, имеется несколько отличающийся от него метод Джинрича, следует в дискуссионном порядке решить вопрос: целесообразно ли для штурманов нашей авиации и флота включить в „Ежегодник“ такие эфемериды, которые упростили бы вычисления и облегчили бы терминологию? Нам кажется, что ответ должен быть дан положительный, такие эфемериды нужны и полезны, их следует дать, примерно, в том виде, как они даются Джинричем. Возможно, что штурманы и гидрографы, ознакомившись со статьей Фохта, выскажут еще некоторые рационализаторские предложения в этой области.

Прошло уже десять лет с тех пор, как в западном полушарии появился способ вычисления звездных наблюдений без звездного времени. Это — способ лейтенанта флота США Джинрича.

Способ этот был принят в авиации в Америке, а затем и в Англии, где с 1938 г. издается Air Almanac со специальными эфемеридами, требуемыми этим способом, т. е. с часовыми углами светил в Гринвиче в средний полдень. „Старые эфемериды“, т. е. прямое восхождение, звездное время и уравнение времени, как „более не нужные“ вовсе не даны.

Принцип Джинрича заключается в том, что он сравнивает часовые углы в Гринвиче и на месте наблюдения и выводит отсюда долготу или по долготе (счислимой) находит местный часовой угол из гринвичского, смотря по задаче; для нахождения часового угла светила в Гринвиче в момент наблюдений он дает таблицу интерполяции.

Пусть на рис. 1 og — гринвичский меридиан в средний гринвичский полдень; меридиан среднего солнца o совпадает с og . Через t средних часов гринвичский меридиан будет в g_1 ; солнце за это время отодвинется от неподвижной звезды $*$ на небольшую величину, равную

$$\frac{3^m 56^s, 56 \cdot t}{24}$$

и будет в \odot_1 ; $\odot_1 g_1 = t$; из чертежа видно, что гринвичский часовой угол $*$ в момент t будет

$$t + \frac{3^m 56^s, 56 \cdot t}{24} + * \odot.$$

Последнее слагаемое $* \odot = * g$ дано в альманахе Джинрича, а

$$t + \frac{3^m 56^s, 56 \cdot t}{24}$$

и есть интерполяция.

Таким образом, таблица интерполяции Джинрича — не что иное как гринвичское время наблюдений, обращенное в звездный промежуток.

Табл. 30 шестизначных мореходных таблиц дает величину:

$$\frac{3^m 56^s, 56}{24}$$

Штурману надо выбрать ее на данное среднее время t и сложить с ним.

Джинрич дает уже готовую сумму и этим сокращает работу штурмана на одно сложение.

Нетрудно видеть по чертежу что, если γ — точка весеннего равноденствия, то $* g = \gamma \odot - \gamma *$ или новая эфемерида, т. е. часовой угол звезды в средний гринвичский полдень — не что иное как разность звездного времени в средний гринвичский полдень и

лизовать его на момент наблюдений, т. е. $3^m56^s,56$, разделить на 24 и помножить на число часов и долей часа, прошедших от полдня; если это t часов, то получим:

$$t + \frac{3^m56^s,56 \cdot t}{24}.$$

Это вычисление по существу тоже является обращением t в звездный промежуток и производится легко по табл. 30 (шестизначных мореходных таблиц).

Во избежание употребления термина „звездный промежуток“, я называю это действие интерполяцией прямого восхождения среднего солнца, которое совершается как всякая интерполяция и отличается от интерполяции склонения солнца только тем, что часовая перемена — постоянная и потому в альманахе не дается, а включена в табл. 30.

Д ж и н р и ч называет это действие интерполяцией часового угла и дает готовую сумму, а также и готовую разность прямых восхождений солнца и звезды под названием часового угла звезды в гринвичский полдень (в его *Air Almanac*).

Правда, он этим сберегает штурману два сложения — вычитания и одну выборку из альманаха. Но это не есть результат его предложения — сравнения часовых углов. Это результат того, что он приспособил альманах к своему способу. Мне же пришлось приспособить свой способ к существовавшему тогда английскому *Nautical Almanac* (русского ежегодника тогда не было), в котором эфемериды солнца давались только на полдень, а не через 2 часа, как теперь.

Если приспособить астрономический ежегодник к моему способу, то такой ежегодник ничем бы не отличался от эфемерид Д ж и н р и ч а, кроме названий.

Часовые углы звезд в гринвичский средний полдень назывались бы разностью прямых восхождений звезд и среднего солнца; таблица интерполяции часовых углов называлась бы таблицей интерполяции разности прямых восхождений.

Пять сложений — вычитаний также свелись бы к трем и также одной выборкой было бы меньше.

Цель моего способа — избежать употребления терминов „звездное время“ и „звездный промежуток“, которые иногда затрудняют штурманов.

Излагая свой способ во Владивостокском училище дальнего плавания в 1911—12 гг. при преподавании мореходной астрономии, я убедился в том, что его понимали легче, чем вычисления с применением звездного времени.

Тот факт, что в Америке, под давлением возросших требований авиации, нашли путь в обход звездного времени, ясно показывает, что потребность в этом есть.

В нашем морском астрономическом ежегоднике тоже видна попытка избежать употребления термина „звездное время“. Оно дано под названием величины R , а старая табл. 30 (шестизначных мореходных таблиц), ограниченная двумя часами, названа: „Таблица для интерполяции величины R “ и дана дважды: в конце и в виде вкладного листа на толстой бумаге, хотя место ей, как из года в год не меняющейся, — не в ежегоднике, а в мореходных таблицах.

Характерно, что в объяснении (стр. 225) в выноске сказано, что такое звездное время. Можно думать, что книга предназначена для читателя, который может и не знать звездного времени.

Попытка избежать употребления термина „звездное время“ не доведена в морском ежегоднике до конца, и в таблицах широты по Полярной мы находим уже звездное время, а не величину R .

У Д ж и н р и ч а и эта таблица построена так, что аргументом для входа в таблицу служат часовые углы.

Такой же таблицей можно пользоваться и при моем способе.

Таким образом, все задачи мореходной астрономии решаются просто и легко без звездного времени.

Если авиация на западе уже оставила звездное время, то почему не сделать этого и флоту (как предсказывает В и м с)?

Таким образом, мы имеем два способа. Существенная разница между ними — в ходе мыслей при решении.

В методе Д ж и н р и ч а — часовые углы в Гринвиче и на месте. У меня — переход разностью прямых восхождений от звезды к солнцу. Эта разность представляет нечто реальное в природе: она показывает, насколько звезда идет впереди или позади солнца.

Так как цель всякого нового способа состоит в упрощении, облегчении и ускорении решения задачи, то мы приходим к вопросу: что легче объяснить, легче понять, легче усвоить — часовые углы или разность прямых восхождений?

Если авиаторам на западе пришлось искать новый способ в обход звездного времени, то то же могут сделать и моряки, имея указанные выше два способа.

Н. А. Фохт



35-19

104-16a