ГИДРО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ СССР

ТРУДЫ
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

ТОМ II. Вып. 4.

Transactions
of the
OCEANOGRAPHICAL INSTITUTE

Vol. II. No. 4.

ИЗДАНИЕ
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
МОСКВА—1932 г.

Гидрологические работы Морского научного института в юго-западной части Баренцова моря летом 1928 г. на э./с. „Персей“.

Н. Н. Зубов (Москва).

1. Предисловие.

В 16-ой и 17-ой экспедициях Морского научного института были сделаны в юго-западной части Баренцова моря следующие работы:

1. В 16-ой экспедиции (рис. 1): разрез по 30 меридиану от 70° 46′.5 N до 76° 15′ N, сделанный 13—23 июня; разрез по 35 меридиану от 76° 48′.4 N до 69° 25′ N, сделанный 24—29 июня; разрез по 38 меридиану от 69° 00′ N до 73° 30′ N, сделанный 1—7 июля; суточная станция на якоре на 76° 06′.2 N. 30° 00′.5 E с 7^h 21 июня по 10^h 22 июня; суточная станция на якоре на 73° 16′.5 N 38° 24′.5 E с 5^h 5 июля по 13^h 6 июля.

2. В 17-ой экспедиции (рис. 2): разрез по 30 меридиану от 70° 45′ N до 77° 30′ N, сделанный между 30 июля и 5 августа; разрез вдоль кромки льда от 77° 30′ N, 30° 00′ E до 78° 47′ N, 43° 15′ E, сделанный 5—10 августа; разрез по 35 меридиану от 78° 34′ до 69° 30′ N сделанный между 10 и 19 августа; станция на якоре [1] на 77° 30′N и 30° 00′E, сделанная между 15^h 30^m 5 августа и 4^h 6 августа.

Инструментария и оборудования, которыми пришлось пользоваться при перечисленных выше работах, было недостаточно и это отразилось на наших работах. Во первых, от некоторых работ, которые можно было бы произвести, пришлось отказаться и, во вторых, некоторые даже выполненные работы не могли быть произведены с точностью, отвечающей современным требованиям.

Батометров у нас было только два, опрокидывающиеся, системы Нансена.

Что касается опрокидывающихся термометров, то в 16-ой экспедиции вполне надежен у нас был только один термометр, другой давал хорошие показания, но не всегда. На остальные термометры положиться было нельзя. Указанные выше свойства термометров, проверенных перед экспедицией, выявились после первой же станции, и я должен взять на себя ответственность за то, что я не вставил оба хороших термометра в один батометр.

В конце июньского разреза по 35 меридиану 2 термометра были утоплены и поэтому конец разреза по 35 меридиану, а также весь разрез по 38 меридиану и суточную станцию 5—6 июля мы провели только с одним, правда, самым лучшим термометром.

К 17-ой экспедиции удалось достать несколько совершенно новых термометров и таким образом в 17-ой экспедиции мы смогли работать сразу двумя батометрами, в каждом из которых было по два термометра. Разница показаний термометров очень редко достигала 3 сотых. Иногда мы получали температуры, которые можно было об'яснить только неправильным действием батометров. Мы не упускали случая повторять такие наблюдения, если мы это замечали.

---

[1] Надвигавшиеся льды заставили два раза менять якорное место и, наконец, прекратить станцию совсем, приблизительно через полсуток после начала станции.

Вертушек у нас было две: одна системы Экман—Мерца, другая Экмана. Обе вертушки работали хорошо, особенно вертушка Экман—Мерца, изготовленная в мастерской Центрального управления морского транспорта. Вертушка Экмана, более слабая по конструкции, требовала бережного обращения. Недостатком обоих вертушек было разбрасывание шариков на малых скоростях.

Прозрачность определялась диском Секки; цвет по шкале Фореля-Уля.

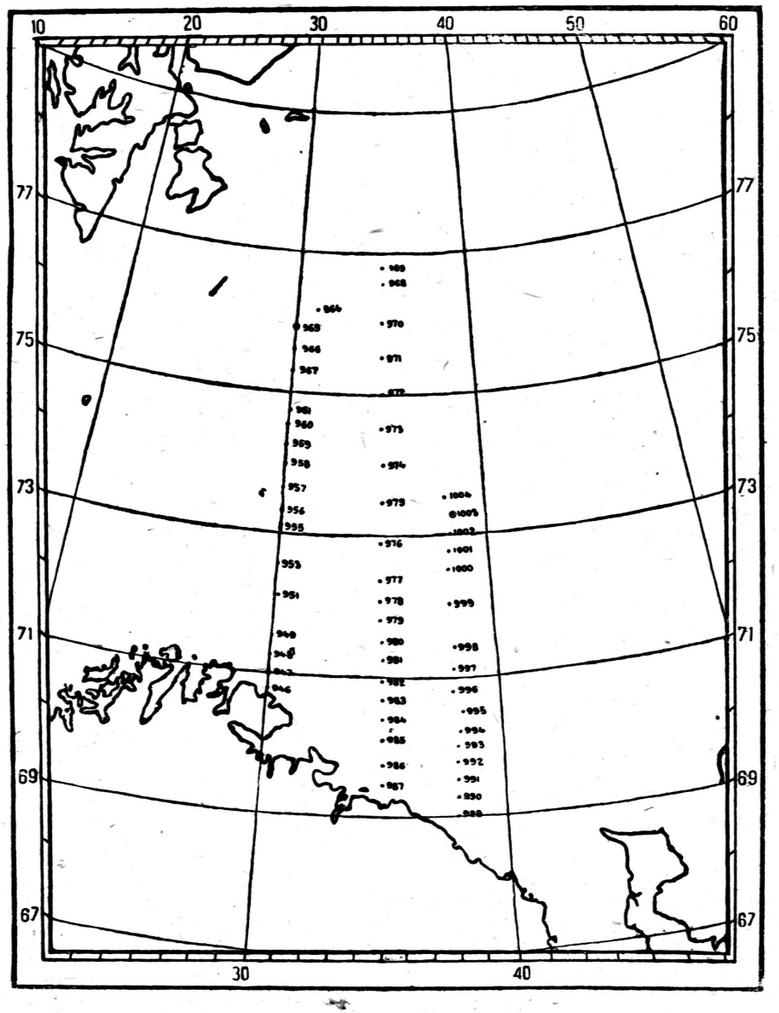

Рис. 1. Станция 16-ой экспедиции.

Наиболее слабым местом наших работ было сохранение проб для определения солености. Для этой цели мы пользовались обыкновенными молочными бутылками, закупоривали их обыкновенными пробками и заливали последние пеком. Для нумерации бутылок к ним привязывались картонные этикетки [1].

Батометры посылались с кормы с электрической вьюшки Томсона. Трос на вьюшке был ненадежный и несколько раз обрывался. К концу работ на

[1] Это обстоятельство заставило меня с особой осторожностью отнестись к полученным данным по солености и сознательно выпустить в предлагаемой работе одну из весьма интересных для Баренцова моря глав „Соленость".

вьюшке оставалось всего 300 m троса, так что при работе на больших глубинах пользовались планктонной вьюшкой, установленной также на корме.

На суточных станциях, кроме вьюшки Томсона, пользовались ручной вьюшкой от лота Джемса, на которой было всего 100 m троса. С этой вьюшки посылалась одна из вертушек. Другая вертушка посылалась с вьюшки Томсона тогда, когда последняя была свободна от батометров. Уже указывалось, что батометров было мало, и потому производство батометрической серии отнимало

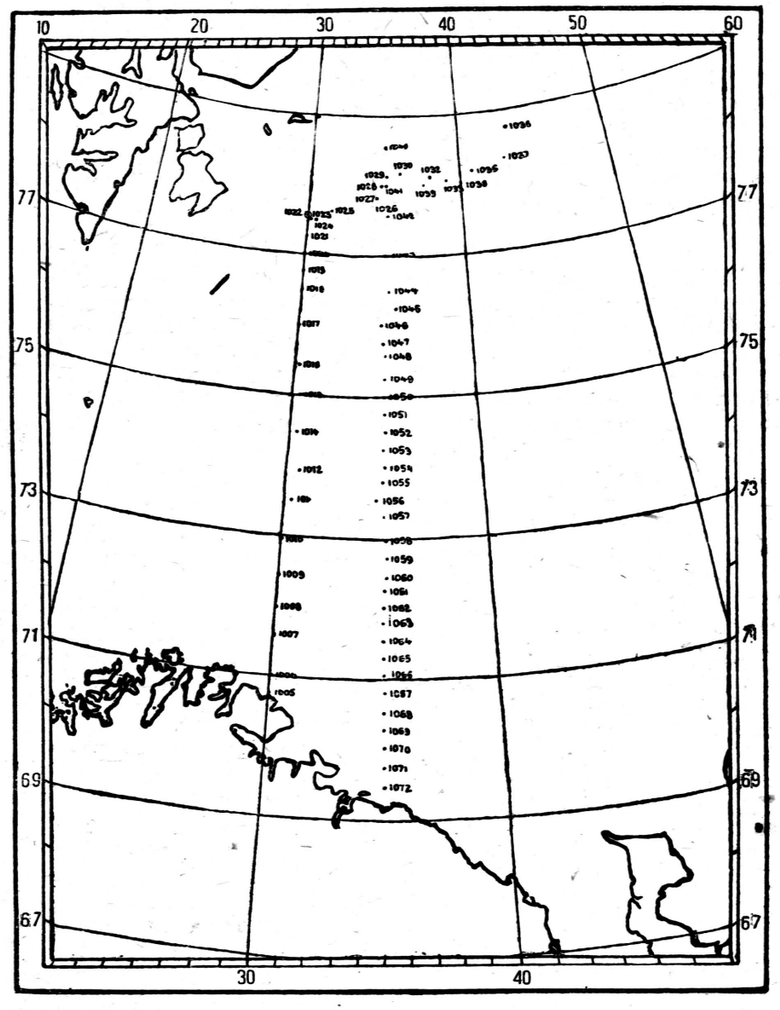

Рис. 2. Станция 17-ой экспедиции.

много времени. Поэтому работа вертушкой с вьюшки Томсона не могла быть сделана так, как следовало бы. Это особенно неприятно потому, что как раз с этой вьюшки только и возможны были глубоководные измерения течений.

Говоря о трудностях работы, надо упомянуть еще о неблагоприятных, особенно в августе, погодах. Штормов, которые прекращали бы работу совершенно, не было, но на разрезах по 30 и 35 меридианам погоды были таковы, что брать батометрические серии иногда приходилось на ходу. „Персей" приводился против ветра и регулировал свой ход так, чтобы держаться против

волны и ветра, не продвигаясь вперед. Иногда для этой цели приходилось давать средний ход, и проволока, тем не менее, шла вертикально вниз. При большой волне и сравнительно малом ветре это не удавалось, и тогда угол проволоки был значителен.

Все палубные работы в 16-ой экспедиции производились В. П. Кальяновым и А. В. Соколовым, в 17-ой экспедиции—В. П. Кальяновым и В. А. Ледневым. Глубины измерялись штурманами „Персея“ А. Г. Корельским, В. Ф. Безбородовым и Шарбароновым. Ими же велись наблюдения над течениями поплавками Митчеля и одной из вертушек.

Титрование на хлор было сделано В. А. Васнецовым; обработка наблюдений поплавками Митчеля командиром „Персея“ И. Н. Замяткины.

Пользуюсь случаем принести всем перечисленным лицам, помогавшим в работе, искреннюю признательность.

Особую благодарность приношу Гидрографическому управлению, Центральному Гидрометеорологическому бюро Цумора, Тимирязевской сельскохозяйственной академии и Ярославскому педагогическому институту за предоставление опрокидывающихся термометров и вертушек.

2. Некоторые общие сведения по Баренцову морю.

Если принять за границы Баренцова моря линию Норд-Кап—Медвежий остров—Южный мыс (Шпицбергенского архипелага), восточное побережье Шпицбергенского архипелага, линию мыс Лей-Смит—мыс Мэри Гармсуорт, южное побережье Земли Франц-Иосифа, линию о. Литке—мыс Желания, западное побережье Новой Земли, линию м. Логинов—м. Воронов (Карские ворота), Югорский шар, м. Канин—м. Городецкий и северное побережье Мурманского полуострова, то главные данные Баренцова моря будут таковы:

Таблица 1.

Поверхность.

Широты	Площадь в тысячах km²	Проценты
Ниже 70° с. ш.	191	14.0
От 70° до 71° „	116	8.5
„ 71° „ 72° „	109	8.0
„ 72° „ 73° „	112	8.3
„ 73° „ 74° „	117	8.6
„ 74° „ 75° „	120	8.8
„ 75° „ 76° „	125	9.2
„ 76° „ 77° „	140	10 3
„ 77° „ 78° „	130	9 6
„ 78° „ 79° „	105	7 7
Выше 79° „	95	7 0
Общая площадь	1360	100.0

Таблица 2.

Поверхность моря, занятая глубинами.

Глубины в m	Площадь в тысячах km²	Проценты
0 — 100	311	22.9
100 — 200	341	25.1
200 — 300	470	34.6
300 — 400	199	14.6
Свыше — 400	39	2.8
Всего	1360	100.0

Таблица 3.

Об'емы.

Глубина в m	Об'ем в тысячах km³	Проценты
0 — 100	16	5.7
100 — 200	51	18.9
200 — 300	118	43.5
300 — 400	69	25.6
Больше 400	17	6 3
Общий об'ем	271	100 0

Таблица 4.

Об'ем между горизонталями.

Глубина в m	Тысяч km³	Проценты
0 — 100	120	44.4
100 — 200	88	32.4
200 — 300	47	17.4
300 — 400	14	5.1
Больше 400	2	0.7
Общий об'ем	271	100.0

Таблица 5.

Площадь сечений проливов.

Название пролива	Площадь в тысячах km²
Норд-Кап — О. Медвежий	128.4
О Медвежий— Южный Мыс	31.3
Great I. — М Мэри Хармсворт	44.5
О. Литке — М. Желания	107.3
Карские ворота (М Логинов—М Воронов)	2.7
М. Канин — Святой Нос	9.5
М. Канин — М. Городецкий	8.3

Деля общий об'ем на площадь, получим среднюю глубину Баренцова моря около 200 m.

3. Рельеф дна.

Прилагаемая (рис. 3) батиметрическая карта[1] Баренцова моря, не может претендовать ни на достаточную точность, ни на достаточную полноту.

Если она прилагается к настоящей работе, то только потому, что карта Брейтфуса и Смирнова устарела, а между тем для общих гидрологических выводов батиметрическая карта совершенно необходима. Изобаты на этой карте проведены через 100 m. Это для моря со средней глубиной около 200 m, конечно, является совершенно недостаточным и не выявляет особенностей рельефа, безусловно сказывающихся на гидрологическом характере моря. Составить батиметрическую карту всего моря с изобатами, по крайней мере через 50 m, является поэтому первоочередной задачей.

В 1928 году весь путь „Персея“ в июне, июле и августе пройден с промером через каждые 5 миль. Это позволило не только дополнить существенно составленную на основании предыдущих работ батиметрическую карту, но и вычертить сравнительно полно профиля разрезов, что чрезвычайно помогло при выводах о связи гидрологических факторов с рельефом дна и при сопоставлении разрезов, произведенных по одному и тому же меридиану, но в разное время.

Для производства промера „Персей“ каждый раз останавливал машины и глубина определялась по длине вытравленной проволоки.

Конечно, при измерении глубин возможны различного рода ошибки. Надо считать, что даже в очень неблагоприятную погоду ошибка в измерении глубины все же вряд ли превышает 5 %, колеблясь около 2—3 % при средних условиях. Этой точности вполне достаточно.

Но для составления батиметрической карты или даже для вычерчивания профиля мало уверенности в точном измерении глубины в данном месте. Надо знать точно координаты измеренной глубины, и с этим дело в северных широтах обстоит гораздо хуже.

В открытом море в широтах Баренцова моря вряд ли возможно получить обсервованное место с точностью до 3 миль даже при благоприятных условиях погоды. Обычные в этом море, особенно в северной его части у льдов, туманы, облачность, неясность горизонта делают иногда самые обсервации невозможными в продолжении нескольких дней. Так, например, на разрезе по 35 меридиану в 16-ой экспедиции оказалось возможным получить широту и долготу станций по обсервации только 2 раза: один раз в широте 76° 48.4 (по солнцу) и другой раз в широте 69° 45′ (по береговым предметам). Координаты промежуточных станций и промеров пришлось брать по счислению, правда, пользуясь обратной прокладкой и другими вспомогательными приемами, но все же с неизбежными ошибками, учесть которые почти невозможно.

Известно, что счислимые места кораблей, даже при обычном следовании из порта в порт, иногда дают расхождения с истинными их местами, не удовлетворяющие не только требования научно-исследовательской работы, но и простые требования безопасности кораблевождения. Понятно, что точность счислимых мест корабля, ведущего исследовательские работы, а потому принужденного через несколько часов хода останавливаться на несколько часов для производства работ с неизбежным во время этих работ маневрированием, может быть удовлетворительной только при условии самой тщательной прокладки и соблюдения особых предосторожностей.

---

[1] В основу прилагаемой батиметрической карты (рис. 3) положены: батиметрическая карта Брейтфуса и Смирнова (1905), карта Английского Адмиралтейства № 2282, карты Гидрографического управления, немецкие карты Fischerei Karte Nordlich Eismeer Barentsee. Sudl. Teil. Marineleitung Berlin 1927; промеры норвежских судов Blaafjeld 1923 и Tovik 1924. Resultater av de norske Stadtsunderstottede. Spitsbergen expeditioner. Band 1, № 10, Thor Iversen, Hopen, 1926; промеры капитана Worsley F. A. Under Sail in the Frozen North, 1925; батиметрическая карта Баренцова моря А. А. Шорыгина (1926, не опубликована); батиметрическая карта Карского моря В. А Васнецова (1928, не опубликована); карта к физико-географическому обзору Белого моря. Изд. Гидрогр. управл.; промеры Института по изучению Севера между Землей Франца Иосифа и Новой Землей, 1927 (любезно сообщены В. В. Тимоновым) и промеры Морского научного института с 1921 по 1929 г.

Из последних во время станций, и особенно, во время плавания во льдах, когда приходилось часто менять курс и ход, капитан „Персея“ И. Н. Замяткин пользовался приемом, широко применяющимся в военных флотах, а именно вспомогательной прокладкой в большом масштабе на отдельных листах бумаги с выносом на ходовую карту только конечных пунктов. Затем в 16-ой экспедиции во время разреза по 30 меридиану бросалась в море на время станций особая вспомогательная веха.

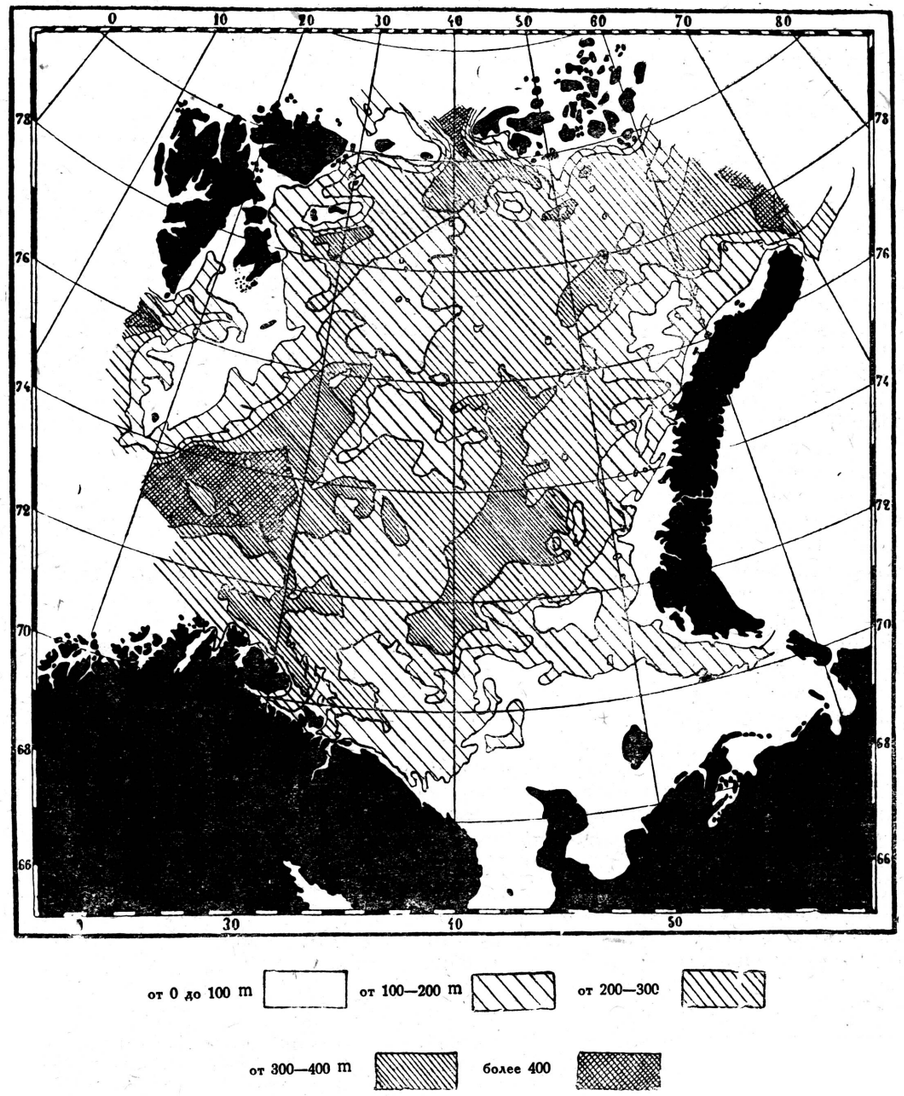

Рис. 3. Батиметрическая карта Баренцова моря.

Постановка вехи принесла несомненную пользу, потому что она воочию показала насколько значительны могут быть сносы корабля за время станции, продолжающейся несколько часов. Даже при средних условиях видимости мы иногда по нескольку раз теряли веху из вида и нам приходилось прерывать

работы и к ней подходить. Это станет вполне понятно, принимая во внимание значительные, даже в открытых частях Баренцова моря, скорости постоянного и в особенности приливо-отливных течений (факторы, которые совершенно еще не изучены).

Я потому так подробно остановился на этом вопросе, что в сущности все промеры в Баренцовом море, за исключением некоторых участков у берегов Мурмана и Печорского моря, сделаны судами, производившими одновременно научные исследования. Это обстоятельство делает задачу составления общей батиметрической карты весьма трудной, особенно, если принять во внимание малую доступность северной и северо-западной части моря из за льдов.

Здесь надо сделать еще одно маленькое отступление. Мы делали промеры через каждые 5 миль. Понятно, что более частые промеры в открытом море на остановках или на ходу, пользуясь обыкновенными лотами, невозможны. Не говоря уже об утомительности такой работы, надо принимать во внимание еще неизбежное изнашивание проволоки, особенно при промерах на ходу. Однако в некоторых местах Баренцова моря промер через каждые 5 миль недостаточен.

Баренцово море является классическим примером влияния рельефа дна на гидрологические элементы,—своего рода лабораторией—и, поэтому, изучение рельефа именно этого моря является одной из существенных задач гидрологии. Между тем небольшие глубины Баренцова моря заставляют требовать возможно более частых промеров[1].

Отсюда вытекает совершенная необходимость использования в Баренцовом море эхо-лота, который может дать рельеф дна на основании промеров сколь угодной частоты. До той же поры вполне возможно, что многие гидрологические явления останутся необ‘ясненными или об‘ясненными неправильно, исключительно из за незнания рельефа.

Сейчас пока главные особенности рельефа Баренцова моря представляются в следущем виде.

Наиболее глубокими частями Баренцова моря, с глубинами более 400 m, являются проливы между Норд-Капом и о. Медвежий, между о. Медвежий и Шпицбергеном[2], между Землей Виктории и Землей Франца-Иосифа и, наконец, между Землей Франца-Иосифа и Новой Землей. От этих глубин в Баренцово море тянутся 300-метровые глубины, нигде, однако, не сообщающиеся друг с другом и с 300-метровыми глубинами внутренней части моря.

Из последних наиболее замечательны:

1) Центральное углубление Баренцова моря, тянущееся в меридиональном направлении между 71 и 76 параллелями и между 37 и 47 меридианами;

2) углубление между 77 и 78 параллелями и 49 и 54 меридианами, и

3) углубление к югу от островов Карла.

Вся юго-восточная, северо-западная часть моря и район около Новой Земли заняты, главным образом, глубинами меньше 200 m и даже меньше 100 m.

Из подводных возвышенностей, заслуживающих особенного внимания, надо отметить:

1) Подводную возвышенность с глубинами меньше 100 m, тянущуюся от о. Медвежий до юго-восточного побережья Шпицбергена.

---

[1] Действительно, при наших промерах в открытом море мы, например, имели

Широта	Долгота	Глубина
75°55′,1 N	35°00′, E	325
75°53′,0 N	34°42′,3 E	206

т.-е. на расстоянии 5 миль разность глубин была 119 m, что дает угол склона всего около $^3/_4$°. Трудно допустить, чтобы этот угол давал представление об истинном рельефе дна такого моря, как Баренцово.

[2] Исключения представляют следующие места, на которых глубина больше 400 m: 1) 4 пятна между 70 и 71 параллелями и между 23 и 26 меридианами 2) пятна в Варангер-фиорде, 3) пятна около 76 параллели между 30 и 32 меридианами, 4) пятно около 75° 30′ N на 43 меридиане и 5) пятно около 79 параллели и 50 меридиана.

2) Подводную возвышенность с глубинами от 100 m до 200 m с вкрапленными в нее пятнами с глубинами около 70 m, тянущуюся на северо-восток от возвышенности Медвежьего острова. Эта возвышенность не имеет названия, между тем, имеет большое значение для режима Баренцова моря и потому заслуживает отдельного названия. Я предложил бы назвать ее возвышенностью Персея по имени корабля, работы которого определили ее характер и ее значение.

3) Центральная возвышенность Баренцова моря между 74 и 76 параллелями и 34 и 43 меридианами с глубинами от 150 m до 200 m.

4) Возвышенность около 79 параллели и 46 меридиана с глубинами меньше 100 m. Эта возвышенность вместе с возвышенностью Персея и 100-метровым языком, тянущимся от Земли Франца-Иосифа на юг по 50 меридиану, как бы отделяет северо-западную часть Баренцова моря от его центральной части.

5) Возвышенность с глубинами меньше 100 m у северо-западного берега Новой Земли.

Из других особенностей рельефа Баренцова моря, не перечисленных выше, замечательны:

1) Подводный желоб с глубинами от 100 m до 200 m, врезывающимися в глубины меньше 100 m, огибающий Новую Землю с юго-запада.

2) Ряд подводных углублений западного побережья Новой Земли.

К особенностям рельефа еще придется вернуться при дальнейшем изложении и, потому, сейчас перейдем к рассмотрению полученных нами профилей.

Профиль дна по 30 меридиану от берегов Норвегии до подводной возвышенности Персея не дает подробностей, обращающих на себя особенное внимание.

300-метровые глубины начинаются почти у самого берега и здесь дно, повидимому, очень сильно изрезано. По крайней мере на ст. 946 на 70°46′ 25″ N, 29° 58′ E мы в начале станции имели глубину в 333 m, а в конце—135 m причем изменения места судна, определенного по пеленгам, замечено не было

Дальше на север по разрезу мы встречали почти до самой возвышенности Персея 300-метровые глубины с следующими особенностями:

1) На 71°30′ N к разрезу с востока подходят 200-метровые глубины.

2) 71 параллель разрез пересекает по 300-метровым глубинам, но с востока и запада к нему подходят 200-метровые глубины.

2) От 72°15′ N до 73° N разрез пересекает 200-метровые глубины, тянущиеся с востока.

4) На 74 параллели к разрезу подходит с востока язык 200-метровых глубин, создающий повышение дна на разрезе до 74°45′ N.

5) Перед 76 параллелью к разрезу с востока подходит пятно 400-метровых глубин.

6) Затем дно постепенно начинает повышаться и в широте 77°15′ (гл. 187 m) разрез переваливает через очень узкую здесь возвышенность Персея.

Разрез по 35 меридиану дает больше интересных подробностей.

1) Вблизи Мурманского берега разрез пересекает 300-метровые глубины, тянущиеся на восток и вскоре обрывающиеся. Надо отметить, что с запада от этих глубин к северу от полуострова Рыбачьего выступает на север язык 200-метровых глубин.

2) От 71°20 N до 72°20′ N разрез пересекает 200-метровые глубины, тянущиеся с востока.

3) Около 73 параллели разрез пересекает возвышенность с наименьшей глубиной около 210 m.

4) Перед 74 паралелью он проходит между 300-метровыми глубинами, тянущимися с запада и 300-метровой впадиной, расположенной к востоку.

5) Между 74° 40 N и 75° 50′ N разрез пересекает Центральную возвышенность Баренцова моря. Наименьшая глубина на разрезе—158 m.

6) После Центральной возвышенности дно круто понижается почти до 300 m (76° 18′ N), и затем начинается под'ем на возвышенность Персея, где по этому меридиану наименьшая глубина, встреченная нами под 77° N, оказалась равной 103 m.

Разрез по 38 меридиану доведен только до 73° 30′ N. Из его особенностей надо отметить:

1) у самого берега дно опускается почти до 200 m, 2) затем идет под'ем дна до 110 m, 3) от этой глубины дно понижается к Центральной впадине Баренцова моря (глубины больше 300 m) и пересекает ее юго-западный язык между 71° 20′ N и 71° 53′ N.

Разрез вдоль кромки льда большею своею частью расположен на возвышенности Персея, на которой, неожиданно для нас. были обнаружены пятна с глубинами около 70 m, и восточной своей частью выходит на 200-метровые глубины, среди которых нами найдены дополнительные 100-метровые пятна. Рельеф этой части моря слишком мало изучен, чтобы можно было ему дать достаточно полную характеристику.

4. Влияние рельефа на температуры меридианальных разрезов.

Температуры в Баренцовом море дают наиболее надежные и наименее запутанные данные для суждения о происхождении вод.

Меридианальные разрезы по 30, 35 и 38 меридианам идут поперек входящего между Нордкапом и о. Медвежий Нордкапского течения и позволяют судить о путях вод этого течения по мере продвижения его на восток вглубь Баренцова моря (рис. 4, 5, 6 и 7).

Наибольший материал в данном отношении представляет наш разрез по 35 меридиану в 17-ой экспедиции (рис. 7). Этот разрез пройден нами станциями через каждые 15 миль, причем приблизительно на половине общего числа станций мы брали горизонты: 0, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200 m и т. д., а на другой половине горизонты 0, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 m и т. д. Эти обстоятельства—в связи с тем, что в 17-ой экспедиции термометры у нас были безукоризненные, всегда посылались на глубину по два в одном и том же батометре, выдерживались на глубине по 10 минут, и наблюдения, в случае каких нибудь неясностей, неуклонно повторялись—делают заключения, к которым можно притти при изучении термических данных этого разреза, не подлежащими сомнению.

Обратим внимание, прежде всего, на часть разбираемого нами разреза между Центральной возвышенностью Баренцова моря и возвышенностью Персея.

Здесь на расстоянии от 75° 15′ N (глубина 158 m) до 77°00′ N (глубина 103 m) дно образует ярко выраженное углубление, тянущееся с запада на восток с наибольшей глубиной около 300 m (ст. 1045).

На рассматриваемом участке мы сделали 7 гидрологических станций (1043—1049) и проведенные изотермы делают изгиб книзу, поразительно совпадающий с рельефом дна [1].

Замечательно далее, что в рассматриваемом углублении все изотермы, сверху до низу, как бы прижаты к северному склону Центральной возвышенности Баренцова моря.

Переходя по разрезу далее на юг, мы видим быстрый под'ем изотерм кверху и над самой Центральной возвышенностью как бы шапку очень холодной воды (с температурой, близкой к температуре замерзания).

Южнее, в связи с понижением дна, изотермы начинают опускаться.

Остановимся пока на этом и сделаем соответствующие выводы.

Воды Нордкапского течения при своем движении на восток естественно стремятся пойти по путям, представляющим для них наименьшее сопротивление, то есть по линиям наибольших, встречающихся на пути, глубин [2]).

---

[1] Об изгибе изотерм над южным склоном возвышенности Персея, определяющеем холодный промежуточный слой, мы будем говорить в специальной главе посвященной этому слою.

[2] В замечательной работе Нансена, 1906 г. „The Northern Waters“, о влиянии рельефа на направление струй Нордкапского течения, говорится так: „Если движущаяся вода встречает препятствие, она отклоняется в сторону и дальше следует по линии наименьшего сопротивления. Над банками образуются как бы острова более спокойной и тяжелой воды, где вертикальная циркуляция превалирует над горизонтальной. Благодаря вращению земли, течение прижимается вправо и если углубление велико, то может возникнуть циклоническое движение (стр. 26).

Углубление между Центральной возвышенностью и возвышенностью Персея, расширяющееся к востоку за этими возвышенностями, представляет собою один из наиболее благоприятных в этом отношении путей.

Наоборот, Центральная возвышенность Баренцова моря, подымающаяся на встречу идущим с запада Нордкапским водам, представляет собою препятствие, благодаря трению, задерживающее и почти что останавливающее движение этих вод на восток.

Температура вод Баренцова моря за исключением самых верхних слоев почти всецело зависит от двух причин: зимнего охлаждения, распространяющегося на некоторую, иногда значительную глубину, и от проникновения теплых атлантических вод.

Зимой воды Нордкапского течения, охлажденные уже на пути в Баренцово море, здесь охлаждаются еще более и изотермы сглаживаются. Летом начинают поступать более теплые воды. Они оттесняют, смывают следы зимнего режима. Естественно, что это действие Нордкапских вод сильнее там, где сильнее течение, т. е. в соответствующих углублениях, и слабее там, где течение задерживается трением, т. е. над возвышенностями. Отсюда по температурам и по изгибу изотерм можно судить о скорости Нордкапских вод. Чем ниже данная изотерма, тем больше скорость течения и наоборот.

Мы можем рассматривать углубление между Центральной возвышенностью и возвышенностью Персея как русло реки, по которому с некоторой скоростью движется часть Нордкапских вод.

Но всякое течение в северном полушарии под влиянием вращения земли отклоняется вправо, и получающееся ускорение тем больше, чем больше широта места [1]).

Отклоняющая сила вращения земли в широтах Баренцова моря действует почти что полной своей величиной и она то и вызывает отмеченное прижимание изотерм к северному склону Центральной возвышенности.

Как следствие из того же отклоняющего действия вращения вытекает и наклон вправо „шапки холодной воды“ над Центральной возвышенностью Баренцова моря.

Следуя теперь на юг по разбираемому нами разрезу, мы не так ярко, но все же достаточно ясно, видим, что отмеченные явления, а именно согласованность изгиба изотерм с изгибами рельефа, остаются в силе.

Чем ярче выражено данное углубление или данное возвышение, тем круче в соответствующую сторону изгибаются изотермы.

Также на всем разрезе можно проследить прижимание изотерм к северным склонам возвышенностей и наклон „шапок холодной воды“ к югу.

Бросающимся в глаза отличием от установленного сейчас правила является изгиб изотерм кверху на ст. 1071 (69° 45′ N 35° 00′ E) там, где на данном разрезе никакой подводной возвышенности нет. Станция расположена на северном береговом склоне. Но если мы взглянем на батиметрическую карту, то мы поймем это явление и выведем очень важное следствие.

На запад от этой станции, так сказать „вверх по течению“, расположена подводная возвышенность Рыбачьего полуострова с естественным под'емом изотерм и соответствующей „шапкой холодной воды“. Эта возвышенность закончилась еще перед 34 меридианом, но ее следы в виде под'ема изотерм остались даже на 35 меридиане. Замечательно, что в верхних слоях этих следов нет, и это вполне понятно.

Таким образом из примера ст. 1071 мы можем сделать следующее добавление к сказанному раньше, а именно: если на пути Нордкапского течения встречается небольшое, по длине вдоль течения, подводное возвышение, то над ним, естественно, образуется под'ем изотерм, постепенно сглаживаемый, кото-

---

[1]) Мысль о влиянии вращения земли на морские течения не нова. Так еще в 1871 г. Emil Wille в короткой заметке в Poggendorff Annalen доказал, что холодное течение Перу или Гумбольда об'ясняется отклоняющей силой вращения земли. Но в применении именно к Баренцову морю выше приведенные об'яснения были даны впервые Нансеном, и они вполне подтверждаются всеми последующими наблюдениями и, в частности, нашими работами 1928 г.

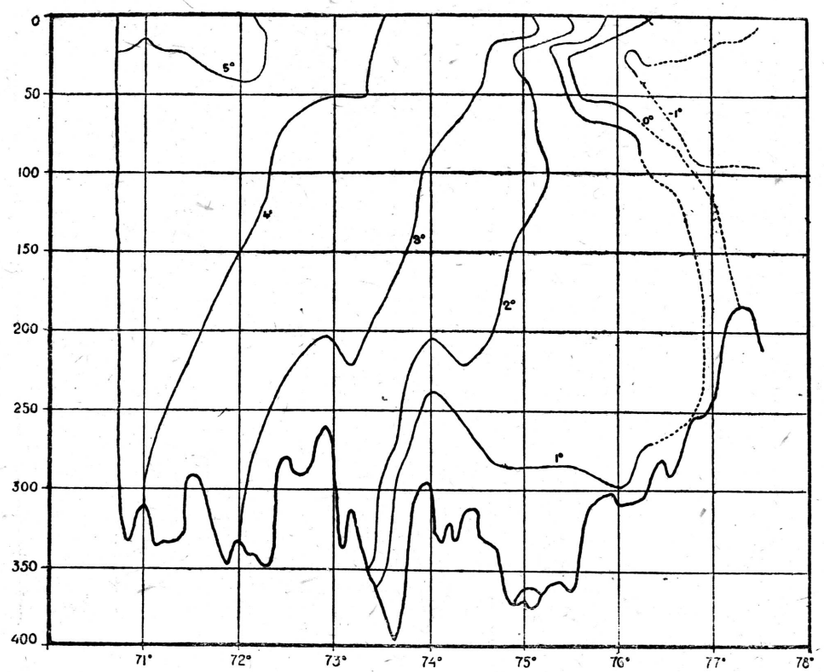

Рис. 4. Изотермы разреза по 30 меридиану 16 экспедиции.

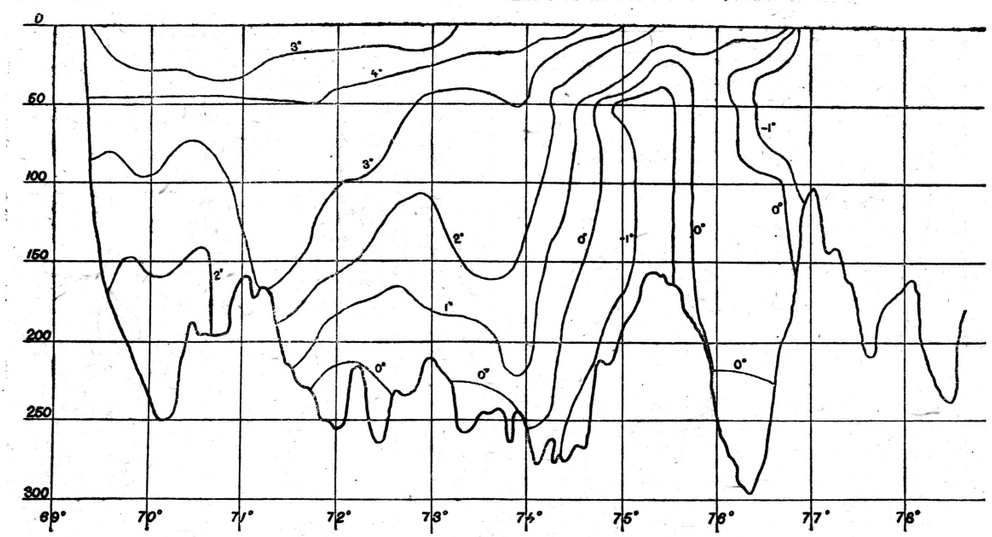

Рис. 5. Изотермы разреза по 35 меридиану 16 экспедиции.

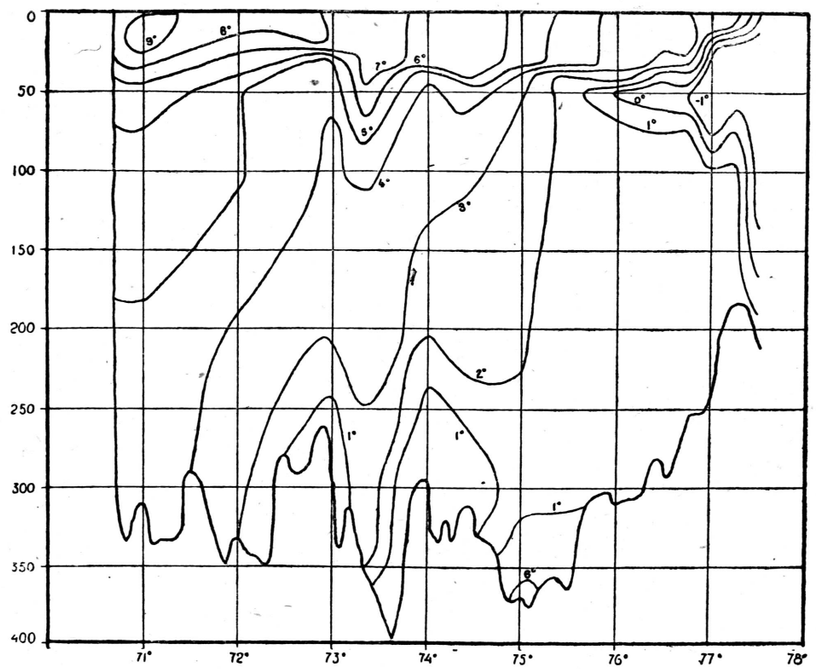

Рис. 6. Изотермы разреза по 30 меридиану 17 экспедиции.

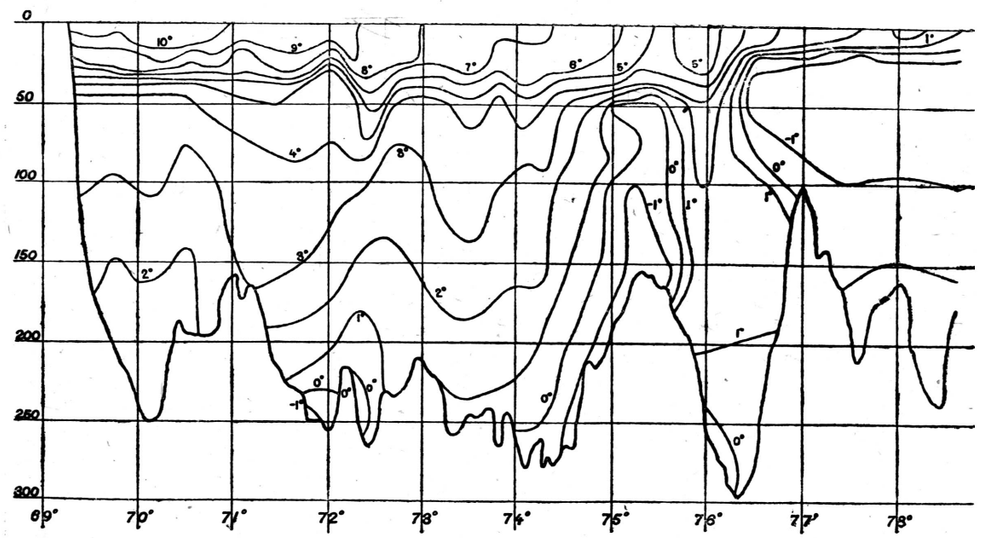

Рис. 7. Изотермы разреза по 35 меридиану 17 экспедиции.

рый можно проследить на некотором расстоянии „вниз по течению“, там, где, как на ст. 1071, следов повышения рельефа уже нет.

В моем распоряжении нет материалов, позволяющих определенно утверждать, что влияние подводной возвышенности, в смысле под'ема соответствующих изотерм, сказывается не только с боков и сзади, но и впереди возвышенности. Но это несомненно так, благодаря тому же трению, которое образует „шапки холодной воды“.

Таким образом каждая отдельная подводная возвышенность как-бы окутана со всех сторон изотермическими поверхностями, форма которых зависит от формы данной возвышенности и которые наклонены вправо по отношению к данному течению.

Изучение этого вопроса в связи с изучением влияния и величины трения является одной из наиболее интересных задач гидрологии Баренцова моря, и Центральная возвышенность Баренцова моря представляет собою в этом отношении одну из замечательнейших лабораторий, устроенных природой.

Рассматривая данные других разрезов, мы видим, что отмеченные нами выше правила, конечно, приложимы и для них. Изотермы также изгибаются, следуя изгибам рельефа, как и на разрезе по 35 меридиану 17-ой экспедиции.

Если это явление на остальных разрезах не так ясно выражено, то только потому, что, во первых, разрезы 16-ой экспедиции вообще сделаны много раньше и, следовательно, вертикальные и горизонтальные градиенты температуры не успели дойти до своего максимума, и, во вторых, потому, что на всех остальных разрезах станции делались почти в два раза реже, что сильно затрудняет в таком море, как Баренцово, правильное проведение изотерм.

По моей вине, например, на 35 меридиане 16-ой экспедиции в таком интересном месте, как углубление между возвышенностью Персея и Центральной возвышеннестью, мы не сделали ни одной станции. Все это показывает насколько неправильно привязывание станций к определенным широтам и долготам, а не к глубинам. Места станций в Баренцовом море должен определять не секстан, а лот[1].

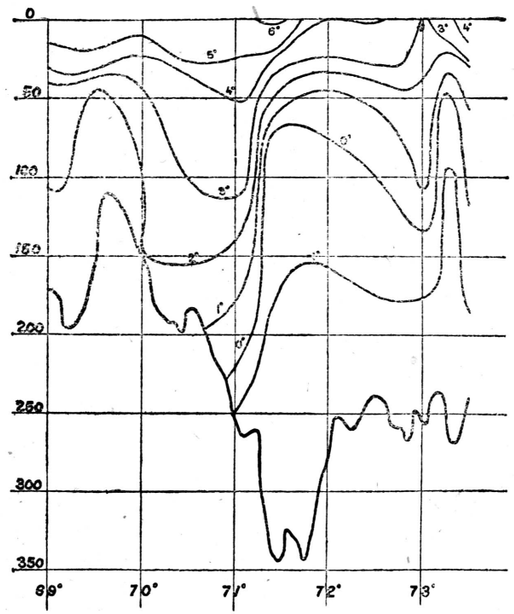

Рис. 8. Изотермы разреза по 38 меридиану 16 экспедиции.

Только два непонятных места с точки зрения выводов, к которым мы пришли, можно отметить на наших меридианальных разрезах, а именно:

На разрезе по 38 меридиану (рис. 8) изотермы, начиная от берега, совершенно правильно следуют рельефу дна, но на станции 1003 (73° 16′.5 N, 38° 24′.5 E) неожиданно идут вверх затем, чтобы на следующей 1004-ой станции (73° 30′ N, 38° 00′ E) так же неожиданно пойти книзу.

Об ошибке в наблюдениях на ст. 1003, так резко выделяющейся от соседних, не может быть и речи. Это была суточная станция, на которой было взято 10 серий температур. Каждая из этих серий дала бы почти тот же изгиб изотерм. Между тем ни на разрезе, ни вблизи, поскольку можно судить по существующим картам, нет глубин, которые оправдывали бы отмеченный под'ем изотерм.

[1] Вертикальные колебания глубинных слоев воды, о которых говорится в главе 9-й, дают мысль о производстве станций через определенные промежутки времени.

Для понимания этой неясности надо вспомнить, что многими предшествующими наблюдениями[1] выяснено наличие приблизительно в середине южной части Центральной впадины Баренцова моря как бы холма холодной и соленой воды, подымающегося со дна почти до 50 m. Наша ст. 1003 лежит как раз на западной окраине этого холма, и отсюда вытекают ее особенности.

Но теперь возникает интересный вопрос, каково-же происхождение этого холма холодной воды, который как бы находится в противоречии со сказанным выше о значении подводных возвышенностей и подводных впадин.

Обратим внимание на следующее.

Воды Нордкапского течения при своем движении на восток встречают до Центральной впадины постепенно уменьшающиеся глубины. Это определяет направление их движения и, как увидим ниже, даже заставляет их, образовав в западной части Баренцова моря циклоническое движение, частью возвращаться обратно. Но, когда эти воды подходят к Центральной впадине Баренцова моря, где глубины сильно увеличиваются, они, во первых, не могут заполнить этой впадины полностью, и, во вторых, следуя общему закону отклонения вправо, изменяют направление своего движения на зюд-ост. Таким образом в южной части Центральной впадины образуется циклоническое движение с относительно застойной водой в центре. Эта застойная вода и образует холм холодной воды, следы которого отмечены нами на 1003 станции[2].

Этот „холм" холодной воды безусловно заслуживает специального и самого внимательного изучения и для этого необходимо, в первую очередь, его пересечь несколькими разрезами, как по меридианам, так и по параллелям.

Что касается второй неясности, то она заключается в том, что на обоих разрезах по 30 меридиану (рис. 4 и 6) около южного склона возвышенности Персея (ст. 964, 966, 966 и 1027, 1019 и 1920) мы наблюдали некоторое повышение температур, не отмеченное правда на наших разрезах особыми изотермами, но все же неоспоримое и достаточно характерное.

Об'ясняется этот факт тем, что на 30 меридиане около возвышенности Персея Нордкапские воды, образовав, как уже указывалось, в западной части Баренцова моря циклоническое движение, движутся в западном направлении и поэтому вполне естественно прижимание этих вод вправо здесь—к южному склону возвышенности Персея. Это, как увидим ниже, вполне доказывается нашими работами.

5. Вычисление скоростей Нордкапского течения по температурам повторенных меридианальных разрезов.

Для определения элементов морских течений существует 2 метода. Первый: прямой—определение направления и скорости течения поплавками и вертушками, второй: косвенный—по наблюденным температурам и соленостям.

Что касается первого способа, то он в Баренцовом море непременно требует постановки на якорь, что далеко не всегда возможно из за условий погоды. Так, например, во время 16-ой и 17-ой экспедиций условия погоды позволили нам сделать только одну суточную станцию южнее 75 параллели, хотя именно наблюдения на суточных станциях были основной задачей гидрологических работ. Кроме того, этот метод, при условии изменчивости гидрологических элементов Баренцова моря по пространству и времени, для суждения о балансе вод требует слишком большего числа наблюдений на разных горизонтах и на многих станциях.

Второй метод—динамический—также имеет свои недостатки.

Действительно, скорости течений при динамической обработке вычисляются в предположении, что на некоторой глубине течения нет. Если таковое в действительности существует, а в частности в юго-западной части Баренцова моря течения отмечаются на всех глубинах, то мы получаем не абсолютные, а только относительные величины. Затем динамическая обработка предполагает

[1] Nansen F. The Northern Waters, стр. 44.
[2] См. примеч, стр. 24.

полную одновременность всех станций и горизонтов разреза, чего на самом деле не бывает. А между тем в Баренцовом море имеют место сильные вертикальные колебания глубинных слоев, обязанные своим происхождением приливо-отливным явлениям. Отмечены здесь также и значительные „глубинные сейши". Вертикальные же колебания глубинных слоев, вызванные теми или иными причинами, конечно, не могут не отразиться на результатах динамической обработки, основанной на сопоставлении удельных об'емов на тех же горизонтах на отдельных станциях разреза. Наконец, сгонные и нагонные явления, изменяющие относительное положение слоев, могут в некоторых отдельных случаях, особенно в таком небольшом бассейне, как Баренцово море, совершенно исказить истинную картину постоянных течений.

Поэтому я считал желательным для суждения об очень интересном вопросе—а именно: какое количество Атлантической воды поступает в Баренцово море между Нордкапом и о. Медвежий—воспользоваться несколькими вспомогательными приемами, между прочим, определением скорости Нордкапского течения по температурам повторенных меридианальных разрезов.

Богатый материал для этого мне дали наши разрезы по 30 и 35 меридиану, сделанные в 16-ой экспедиции и повторенные в 17-ой экспедиции.

Основное допущение при применении указанного приема заключается в следующем:

Повышение температуры на различных глубинах Баренцова моря летом и осенью обуславливается, главным образом, поступлением теплых Атлантических вод. Непосредственный солнечный прогрев имеет весьма малое значение и то только для самых поверхностных слоев. К тому же он несколько компенсируется постоянной отдачей (так как температура воздуха в Баренцовом море в общем ниже температуры воды) водой воздуху некоторого количества тепла.

Отсюда сделанное допущение можно формулировать так: летом в западной части Баренцова моря повышение температуры в давной точке моря пропорционально скорости Нордкапского течения в этой точке.

Для вычислений я взял сечение по 35 меридиану от Мурманского берега до хребта возвышенности Персея на 70° 00′ N (глубина 103 m) и считал, что в этих границах заключена главная масса, двигающихся на восток, Нордкапских вод.

Станции 16-ой и 17-ой экспедиции не совпадают друг с другом и некоторые из них на несколько миль отстают от меридианов.

Далее ручаться за широты и долготы этих станций можно только в пределах отмеченной мною выше точности определений места судна в северных широтах. Поэтому, прежде всего, мне пришлось согласовать места станций разрезов по широте, по долготе, по рельефу и даже по ходу изотерм.

Если координатам станций давать определенный вес, например, места станций по 30 меридиану 16 ой экспедиции считать надежнее, чем места станций 17-ой экспедиции потому что во время станций 16-ой экспедиции мы ориентировались по вехе, служившей прекрасным вспомогательным навигационным средством, или, например, по 35 меридиану места станций 17-ой экспедиции считать вернее, чем места станции 16-ой экспедиции, потому что в 17-ой экспедиции на этом разрезе было больше астрономических наблюдений, чем в 16-ой экспедиции, если наконец, использовать надлежащим образом данные 5-мильных промеров по обоим разрезам, то в таком согласовании не может быть ничего удивительного и ничего не научного.

В навигации в некоторых условиях широко пользуются лотом, как вспомогательным средством для определения места судна в море, и я не вижу причины, почему этим приемом не пользоваться для выправления мест гидрологических станций. Должен заметить, однако, что сделанные мною согласования координат заметны только на разрезах, вычерченных в очень крупном масштабе и, отражаясь на деталях, не могут отразиться на общих выводах. Действительно, только в нескольких случаях для согласования по рельефу и по изотермам пришлось сдвинуть некоторые станции до 5 миль, что для счислимых мест в северных широтах не выходит из точности, с которой мы можем расчитывать получить счислимые места станций при гидрологических работах.

Далее, я очень тщательно вычертил изотермы, получив нехватающие данные на северных частях 16-ой экспедиции экстраполированием. Изотермы проводились мной в соответствии с рельефом дна и ходом близлежащих изотерм.

Затем планиметром я измерил площади разрезов по обоим меридианам и площади разрезов между градусными изотермами. Умножая площади между градусными изотермами на среднюю температуру между ними, суммируя и деля на общую площадь сечения, я получил средние температуры разреза.

Далее, зная продолжительность разреза, я определил средний день каждого разреза, к которому и приурочил полученные средние температуры разрезов. Небольшие погрешности, получающиеся при этом, отчасти компенсируются тем, что оба наши разреза по 30 меридиану были сделаны с юга на север, а оба разреза по 35 меридиану, наоборот, с севера на юг.

По средним дням разрезов можно было определить число дней между разрезами и, деля разность средних температур разрезов на число суток, истекшее между средними днями разреза—получить градиенты температуры разреза по времени (градусы, сутки).

Приведя далее с помощью градиентов температуры по времени средние температуры разрезов по 30 и 35 меридиану к одному дню и деля разность полученных температур на расстояние между разрезами, я получил градиент температуры по пространству (градусы, километры).

Деля теперь градиенты температуры по времени

$$\alpha_t = \frac{\Delta t^0}{\Delta T}$$

на градиент температуры по пространству

$$\alpha_s = \frac{\Delta t^0}{\Delta s},$$

мы получаем среднюю скорость течения по формуле

$$C = \frac{\alpha_t}{\alpha_s} = \frac{\frac{\Delta t^0}{\Delta T}}{\frac{\Delta t^0}{\Delta s}} = \frac{\Delta s}{\Delta T}$$

Ход вычислений и результаты видны из таблиц 6, 7 и 8.

Таблица 6.

Меридиан	30		35	
Экспедиция	16	17	16	17
Средний день разреза	18/VI	15/VIII	27/VI	2/VIII
Средняя температура разреза	2.46°	3.39°	1.69°	2.77°

Таблица 7.

Меридиан	30	35
Число дней между разрезами	45	50
Повышение средней температ. разреза	0.928°	1.081°
Градиент температуры по времени (град. сутки)	0.0206°	0.0216°
Температура разрезов, приведенная к 20 июня	2.50°	1.54°
Температура разрезов, приведенная к 10 августа	3.55°	2.66°

Считая средней широтой разрезов 73° 30′ N, получаем среднее расстояние между 30 и 35 меридианами 158.5 km.

Таблица 8.

Время разреза	20 июня	10 августа
Разность температур по 30 и 35 меридиану	0.96°	0.89°
Градиент температуры по пространству (град/кил.)	0.00606°	0.00562°
Скорость течения на 30 мерид. (cm/sec.)	3.9	4.0
„ „ „ 35 мерид. (cm/sec.)	4.3	4.4

Откуда средняя скорость Нордкапского течения между 30 и 35 меридианами около 4.2 cm./sec.

Отметим теперь некоторые особенности полученных результатов, особенности, которые при сравнительной неточности примененного приема являются может быть, только совпадениями, но, во всяком случае, совпадениями интересными и весьма похожими на действительность.

Первое совпадение: скорости течений на обоих меридианах в августе больше, чем в июне, и это естественно, потому что градиенты температуры в августе больше, чем в июне; отсюда усиление деятельности Нордкапского течения к концу лета.

Второе совпадение: скорость течения на 35 меридиане и в июне и в августе больше, чем на 30 меридиане, и это естественно потому, что площадь разреза по 35 меридиану меньше площади разреза по 30 меридиану.

Действительно:

Таблица 9.

Меридиан	30	35
Длина разреза в km.	732.5	862.3
Средняя глубина разреза в m	318	219
Площадь сечения в km²	232.8	188.6

Третье совпадение: если бы вся вода, проходящая через 30 меридиан, проходила бы через 35 меридиан в принятых нами границах, то существовало бы равенство $C_{30} \cdot P_{30} = C_{35} \cdot P_{35}$

где C—скорость на соответствующем меридиане

и P—площадь сечения этого меридиана.

Но по нашим вычислениям

$$C_{30} \cdot P_{30} = 828.8 \text{ km}^3 \text{ в сутки}$$

и

$$C_{35} \cdot P_{35} = 697.8 \text{ „ в сутки}$$

Отсюда часть воды, проходящей через 30 меридиан, не проходит через 35 меридиан и возвращается обратно. Это вполне согласуется с уже отмеченным повышением температур в северной части разреза по 30 меридиану у южного склона возвышенности Персея.

Как бы соблазнительны ни были дальнейшие выводы из полученных нами совпадений, я считаю, что сейчас было бы очень неосторожно их делать. Будем до дальнейших работ смотреть на полученные нами цифры только как на совпадения.

Вычисление элементов Нордкапского течения по удельным об'емам.

На станциях открытого моря вода всегда более или менее стратифицирована: более легкие воды находятся наверху, а более тяжелые внизу, и отсюда удельный об'ем с глубиной уменьшается.

При полном отсутствии каких бы то ни было течений в сравнительно небольшом бассейне, во всех точках которого климатические условия можно считать одинаковыми, отдельные слои естественно расположатся горизонтально и параллельно друг другу.

Воды Нордкапского течения, широкой рекой вступающие в Баренцово море, также стратифицированы и, если бы земной шар был неподвижен, то на разрезе, сделанном поперек Нордкапского течения, мы также имели бы горизонтальность и параллельность отдельных слоев воды. Но, благодаря вращению земли, создается отклоняющая сила—сила Кориолиса – и эта сила создает перемещение водных масс и наклон изостерических поверхностей, пропорциональный скорости течения. Отсюда, изучая распределение водных масс на

данном разрезе, можно определить скорость течения, вызывающую данное распределение водных масс.

Действительно, предположим, что на рис. 9 представлен поперечный разрез течения. На точку A поверхности этого течения будут действовать две силы: сила тяжести (g), направленная вертикально вниз, и сила Кориолиса (k), направленная горизонтально, перпендикулярно к течению и, если в северном полушарии смотреть вниз по течению, вправо от него.

Поверхность моря в точке A под влиянием этих двух сил станет перпендикулярно к их равнодействующей и таким образом получится наклон уровня моря, определяемый из формулы

$$\operatorname{tng} \beta = \frac{k}{g} = \frac{2\,\omega\, C_1 \operatorname{Sin}\varphi}{g} = \frac{\Delta h_1}{L}$$

где ω—угловая скорость вращения земли,
C_1—скорость течения в точке A,
φ—широта места,
Δh_1—разность уровня в 2 точках, расстояние между которыми равно L.

Из этой формулы получаем

$$C_1 = \frac{\Delta h_1 g}{L\, 2\,\omega \operatorname{Sin}\varphi}$$

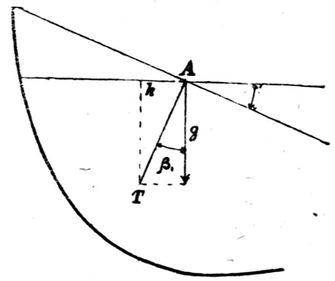

Рис. 9.

В этой формуле все известно, за исключением величин C_1 и Δh_1 и потому, если бы мы определили разность уровня на двух станциях, сделанных поперек разреза, то мы смогли бы вычислить скорость поверхностного течения между этими станциями.

Поверхность моря является нулевою изобарическою поверхностью. Всякую другую изобарическую поверхность можно рассматривать как свободную поверхность моря, так как из самого определения „изобарическая поверхность" вытекает, что давление в каждой ее точке одинаково. Поэтому наклон каждой изобарической поверхности будет определяться только величиной силы Кориолиса, пропорциональной скорости течения на данной поверхности.

Отсюда следует, что если мы в поверхностном слое, двигающемся со скоростью C_1, проведем изобары, то все они будут параллельны уровню моря. Если мы проведем изобары, в следующем втором слое, двигающемся со скоростью C_2, то наклон их определится из формулы

$$\operatorname{tng} \beta_2 = \frac{2\,\omega\, C_2 \operatorname{Sin}\varphi}{g}$$

Так как скорость постоянного течения с глубиной, благодаря трению, убывает и на некоторой глубине становится равной нулю, то понятно, что, если мы проведем изобары в таком неподвижном слое, то они будут горизонтальны, потому что нет причин, вызывающих их наклон.

Пусть на рис. 10 AB—изобара в слое, двигающемся со скоростью C_1 и пусть удельный об'ем этого слоя равен α_1, CD—изобара слоя, скорость которого равна C_2 и удельный об'ем α_2.

Точки C и D лежат, по условию, на одной и той же изобаре. Следовательно, давление вышележащих слоев воды на обе эти точки одинаково. Это условие определяет наклон изостеры BC, разделяющей данные слои.

Давление столба воды равно

$$p = \frac{H\, g}{\alpha}$$

где H—высота слоя,
α—его удельный об'ем,
g—ускорение силы тяжести,

Отсюда

$$p = \frac{AC\, g}{\alpha_1} = \frac{BD\, g}{\alpha_2}$$

Из чертежа имеем

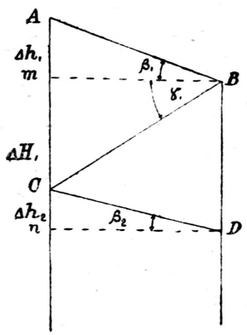

Рис. 10.

$$AC = \Delta h_1 + \Delta H \quad \text{и} \quad BD = \Delta H + \Delta h_2$$

Подставляя, получаем

$$\Delta H = \frac{\Delta h_1\, \alpha_2 - \Delta h_2\, \alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

и, наконец, подставляя вместо величин Δh_1 и Δh_2 их значения, полученные раньше, имеем

$$\operatorname{tng} \gamma = \frac{\Delta H}{L} = \frac{2\,\omega \operatorname{Sin}\varphi}{g} \left[\frac{C_1\, \alpha_2 - C_2\, \alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2} \right]$$

— формулу, определяющую наклон изостеры.

Итак мы получили:

1) в совершенно спокойной воде изобары и изотеры горизонтальны;

2) при наличии течения изобары наклонены пропорционально скорости течения и притом так, что, если смотреть вниз по течению, то изобары справа выше, чем слева;

3) при наличии течения изостеры наклонены обратно наклону изобар, пропорционально разности скоростей и обратно пропорционально разности удельных об'емов, разделяемых данной изостерой.

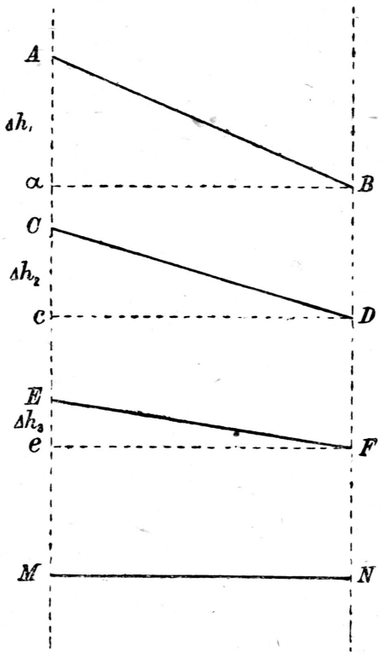

Рис. 11.

То обстоятельство, что в неподвижном слое и изобары и изостеры горизонтальны—очень важно. Скорости течений вычисляются по наклону изобар, причем наклон изобар выводится по сравнению с изобарой, принимаемой за горизонтальную. Другими словами, скорости течения вычисляются снизу вверх от нижних неподвижных слоев, где изобары горизонтальны, к верхним подвижным слоям, где изобары наклонны. Понятно, что при этом важно знать какой же именно слой можно считать неподвижным.

Данные гидрологических разрезов не дают нам непосредственного представления о наклоне изобар, но по ним мы легко можем судить о наклоне изостер. Действительно, если, начиная с некоторой глубины, удельные об'емы отдельных станций одинаковы, то это значит, что изостеры горизонтальны. Из горизонтальности же изостер на некоторой глубине следует, что на этой глубине течения нет и, следовательно, нет и наклона изобар.

Пусть на рис. 11 AM и BN—две гидрологические станции разреза, сделанного поперек течения, L—расстояние между этими станциями и AB, CD, EF и MN—изобары, проведенные на разных глубинах.

Предположим далее, что по горизонтальности изостер мы знаем, что слой, где проведена изобара MN, неподвижен и отсюда выводим, что эта изобара горизонтальна. Так как давление столба воды AM равно давлению столба BN, то

$$\frac{AM g}{\alpha'} = \frac{BN g}{\alpha''} = p$$

где α' — средний удельный об'ем столба воды AM
α'' — „ „ „ „ „ BN

Отсюда

$$AM - BN = \Delta h_1 = \frac{p\,(\alpha' - \alpha'')}{g}$$

Подставляя в полученную нами раньше формулу для скорости поверхностного слоя, имеем

$$C_1 = \frac{\Delta h_1\, g}{2\,\omega\, L \operatorname{Sin}\varphi} = \frac{p\,(\alpha' - \alpha'')}{2\,\omega\, L \operatorname{Sin}\varphi}$$

Для вычисления скорости течения по этой формуле надо условиться об единицах измерения входящих в нее величин.

Давление, как уже указывалось, определяется весом столба воды. 100 единиц давления в системе *MTS* Бьеркнес [1] назвал баром. Эта единица приблизительно равна атмосфере и приблизительно равна давлению столба воды высотой около 10 m. Отсюда один децибар есть, приблизительно, давление столба воды высотой один метр.

Ускорение силы тяжести приблизительно равно 9.8 m в секунду. Единицу работы силы тяжести (работа—длина), другими словами, приблизительно одну десятую метра, Бьеркнес назвал динамическим дециметром.

Говоря точнее: в системе метр—тонна—секунда один децибар есть высота (в обыкновенных мерах) столба воды, давление которого равно десяти единицам давления (MTS), один динамический метр есть вертикальное расстояние (в обыкновенных мерах), на котором сила тяжести производит десять единиц работы (MTS).

Соотношение между обычным метром *(H)*, динамическим метром *(D)* и децибаром *(p)* определяется из формулы

$$D = p\alpha = 0.1\ Hg$$

Надо отметить очень удобное для практических целей соотношение, а именно: обычный метр, динамический метр и децибар приблизительно равны, отличаясь друг от друга не более, чем на 3 % (100 об. метров = 101.2 децибар = 98 динам. метров). Это обстоятельство позволяет заменять одну из этих величин другой.

Теперь мы можем перейти к динамической обработке данных отдельных станций. Для примера приведем полную обработку нашей ст. 1008.

Таблица 10.

Ст. 1008		71° 58′ N.	30° 03′ E.		30 июля 1928 г.		
p	t°	S	Vt	Vpts	Cp. Vpts	$\frac{Vpts.\ \Delta p.}{100}$	d
0	8.6	34.33	400	400			0
10	8.7	.36	400	395	397	40	40
25	7.2	.63	359	348	371	55	95
50	5.4	.72	331	308	328	82	177
100	5.2	.72	329	285	296	148	325
200	4.0	.94	299	211	248	248	573
300	3.6	.90	298	166	188	186	761

В этой таблице: Столбец 1—глубина горизонта в децибарах (метрах). Здесь, так как децибар и метр приблизительно равны, мы предполагаем, что температура и соленость, измеренные нами на глубине в обычных метрах, верны и для того же числа децибар. Столбец 2—температура. Столбец 3—соленость. Столбец 4 —условный удельный об'ем. Так как для океанской воды первые три цифры удельных об'емов всегда равны 0.97, то обычно для уменьшения числа цифр при вычислениях пользуются условным удельным об'емом, связанным с истинным удельным об'емом формулой $Vt = (\alpha - 0.97)\ 10^5$. Столбец 5—условный удельный об ем in situ (ст. 4 плюс поправка на сжимаемость) [2]. Столбец 6—средний условный удельный об'ем in situ, между соответствующими изобарами. Столбец 7—средний условный удельный об'ем in situ, умноженный на расстояние между изобарами и деленный на 100. Последнее делается для того, чтобы в дальнейшем получить условную динамическую глубину в миллиметрах. Бо́льшая точность не нужна. Столбец 8—условная динамическая глубина данной изобары, получающаяся последовательным суммированием цифр столбца 7.

Обратим теперь внимание на следующее. Динамическая глубина есть, в сущности, глубина соответствующей изобары от поверхности моря. Благодаря разнице в удельных об'емах, разница в динамической глубине отдельных изобар на двух соседних станциях становится с глубиной все больше и больше и наибольшей своей величины достигает как раз у дна, т.-е. там, где, как мы в праве считать, течения или совсем нет или оно незначительно и, следовательно, нет причины, вызывающей, как видели выше, наклон изобар. Отсюда, считая придонную изобару горизонтальной, нам следует отсчитывать динамические глубины вверх от этой изобары, а не от поверхности моря. Таким образом разность динамических глубин или, что все равно, разность условных динамических глубин на придонной изобаре двух рядом лежащих станций даст нам соответствующую разность уровня на поверхности моря—величину, необходимую нам для вычисления скорости поверхностного течения.

[1] Bjerknes V. Dynamic Meteorology and Hydrography. Carnegie Inst. Publ. Washington 1911.

[2] Hesselberg Th. und Sverdrup H. U. Beitrag zur Berechnung der Druck-und Massenverteilung im Meere. Bergens Museums Aarbok, 1914-15. № 14.

Понятно, что если мы по ошибке или по недостатку наблюдений примем за основную для отсчета уровней какую-нибудь промежуточную глубину, где течение и, следовательно, наклон изобарической поверхности заметны, то мы получим не истинный наклон уровня, а относительный. Далее, так как разность уровней определяет скорости течений, то, очевидно, в таком случае, мы получим не истинные скорости течений на отдельных горизонтах, а разности скоростей течения на этих горизонтах и на изобарической поверхности, которую мы приняли за горизонтальную.

Возвращаясь теперь к формуле для вычисления скорости течения и заменяя в ней величину Δhg через Δd—разность условных динамических глубин на двух соседних станциях, получаем

$$C = \frac{\Delta d}{2\ \omega\ L\ Sin\varphi}$$

Угловая скорость вращения земли $\omega = 0.0000729$. Динамические глубины мы условились вычислять с точностью до миллиметра. Расстояние между станциями мы снимаем непосредственно с карты в морских милях. Для того чтобы в окончательном результате получить скорость течения сразу в сантиметрах в секунду, введем соответствующие коэффициенты и получим

$$C = \frac{\Delta d}{0.27\ L\ \mathrm{Sin}\ \varphi} = \frac{4\ \Delta d}{L\ \mathrm{Sin}\ \varphi}.$$

Для Баренцова моря, расположенного между 70 и 80 параллелями, синус широты изменяется в пределах от 0.940 до 0.985, что позволяет пользоваться для этого моря формулой

$$C = \frac{4\ \Delta\ d}{L}$$

По этой формуле в следующей таблице вычислены скорости течения на различных горизонтах между станциями 1008 и 1009 в предположении, что на глубине 300 m течения нет.

Таблица 11.

Вычисление скоростей течения между ст. 1008 и 1009.

p	d_1	d_2	$d_1—d_2$	$h_1—h_2$	*C*
0	0	0	0	39	5.1
10	40	39	1	38	5.1
25	95	93	2	37	5.0
50	177	170	7	32	4.3
100	325	304	21	18	2 4
200	573	536	37	2	0.3
300	761	722	39	0	0

В этой таблице: Столбец 1—глубина горизонта в децибарах. Столбец 2—условные динамические глубины изобар на ст. 1008. Столбец 3—условные динамические глубины изобар на ст. 1009. Столбец 4—разности динамических глубин изобар от поверхности моря. Столбец 5—разности динамических высот изобар от 300-метровой изобары, принятой за горизонтальную. Столбец 6—скорости течения на отдельных горизонтах в сантиметрах в секунду, вычисленные в предположении, что на 300 m течения нет.

Так как сила Кориолиса действует всегда в одном относительно течения направлении—перпендикулярно к течению и, в северном полушарии, вправо от него, и так как она вызывает не только наклон уровня, но и наклон изостер, то отсюда всегда, если смотреть вниз по течению, вправо от наблюдателя будут располагаться более легкие, а влево от него более тяжелые воды.

Таким образом, если мы на гидрологическом разрезе, сделанном приблизительно поперек течения, вычертим изостеры, то наклон изостер покажет нам направление течения, а угол наклона изостер даст представление о скорости отдельных слоев воды [1].

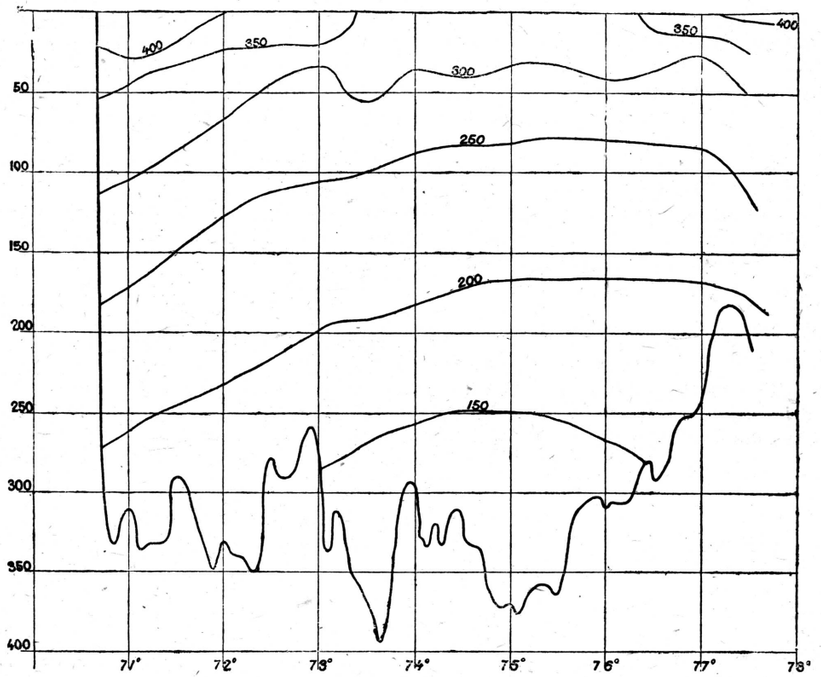

Рис. 12. Изостеры разреза по 30 меридиану в 17 экспедиции.

На рис. 12 представлен динамический разрез, сделанный нами по 30 меридиану 30 июля—5 августа. Изостеры на этом разрезе наклонены вниз, с одной стороны к берегам Норвегии и, с другой стороны, к малым глубинам возвышенности Персея, подымаясь выше всего около 75 параллели. Это показывает, что вдоль берегов Норвегии воды стремятся на восток (Нордкапское течение), а вдоль южного склона возвышенности Персея, наоборот, на запад. 75 параллель на этом меридиане является местом, где течения перпендикулярно меридиану нет.

На рис. 13 данные того же разреза представлены несколько иначе. Этот чертеж имеет целью представить наклон отдельных изобар относительно изобары, которая условно принята за горизонтальную, а именно относительно 200-метровой изобары. Для 0, 50, 100 и 150 m разницы высот изобар в милиметрах показаны в одном и том же масштабе, другими словами, на этом разрезе нанесены разности динамических высот этих изобар.

Такой разрез, давая представление о разности уровней, в то же время дает представление о направлении и скорости течения на разных горизонтах. Течение движется так, что более высокие уровни находятся вправо от него, и с тем большей скоростью, чем больше в данном месте наклон соответствующей изобары.

[1] Из разбираемого разреза ясно, что наклон изотерм к краям с возвышением их в центре является естественным для всякого циклонического движения и нам теперь становятся понятнее причины образования „холма холодной воды“ в южной части Центральной впадины Баренцова моря.

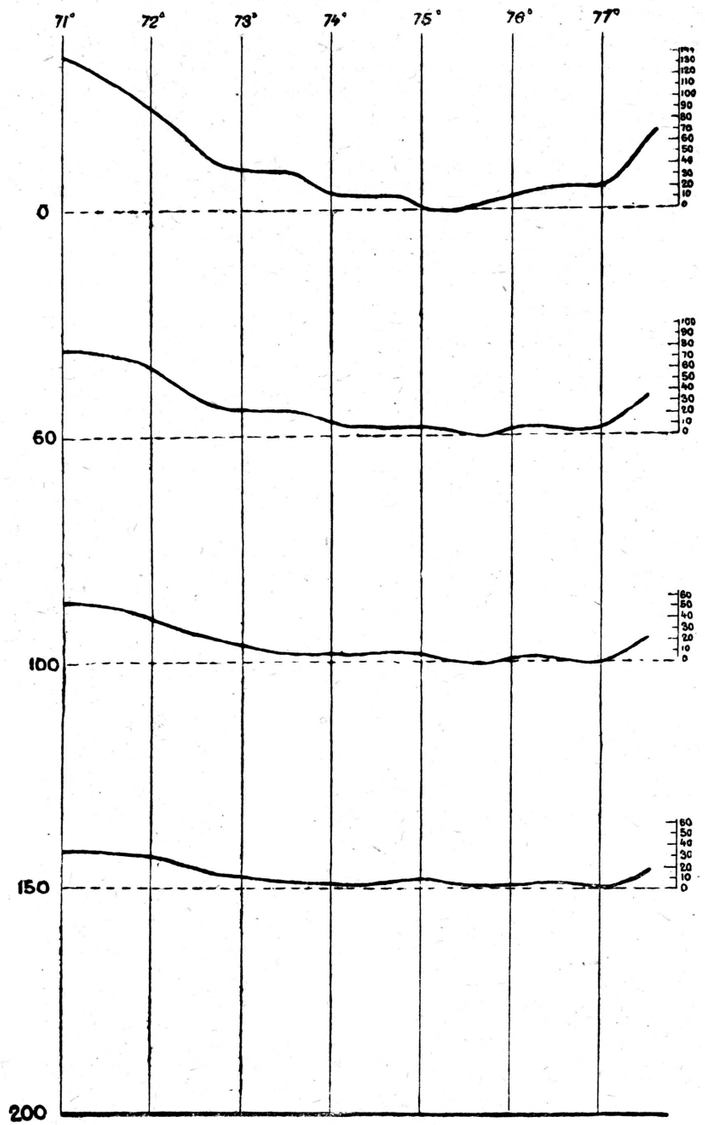

Рис. 13. Наклон изобар на разрезе по 30 меридиану 17 экспедиции.

Наиболее наглядное представление о направлении и скорости течения на сравнительно большом участке моря дает динамическая карта, которая может быть построена, как для поверхности моря, так и для любой другой изобарической поверхности.

На рис. 14 и 15 показаны динамические карты для поверхности моря, построенные по данным 16-ой и 17-ой экспедиций. Для построения этих карт принято условно, что на 200 m течение настолько незначительно, что им можно

пренебречь. Самый ход построения этих карт таков: на карте, на местах сделанных станций, нанесены динамические глубины, соответствующие 200-метровой изобаре. Ясно, что если 200-метровая изобарическая поверхность действительно горизонтальна, то надписанные на карте динамические глубины дадут нам представление об уровне моря. После того как динамические глубины или, вернее, динамические высоты поверхности моря от 200-метровой изобарической поверхности нанесены, по полученным точкам проводятся линии равных динамических высот совершенно так же как на обыкновенной топографической карте для обозначения рельефа проводятся горизонтали.

Понятно, что, чем ближе в какой либо точке моря сходятся динамические горизонтали, тем больше скорость течения. Отсюда, составив такую карту, мы можем прямо с нее снимать скорость течения в любой точке охваченного картой района моря.

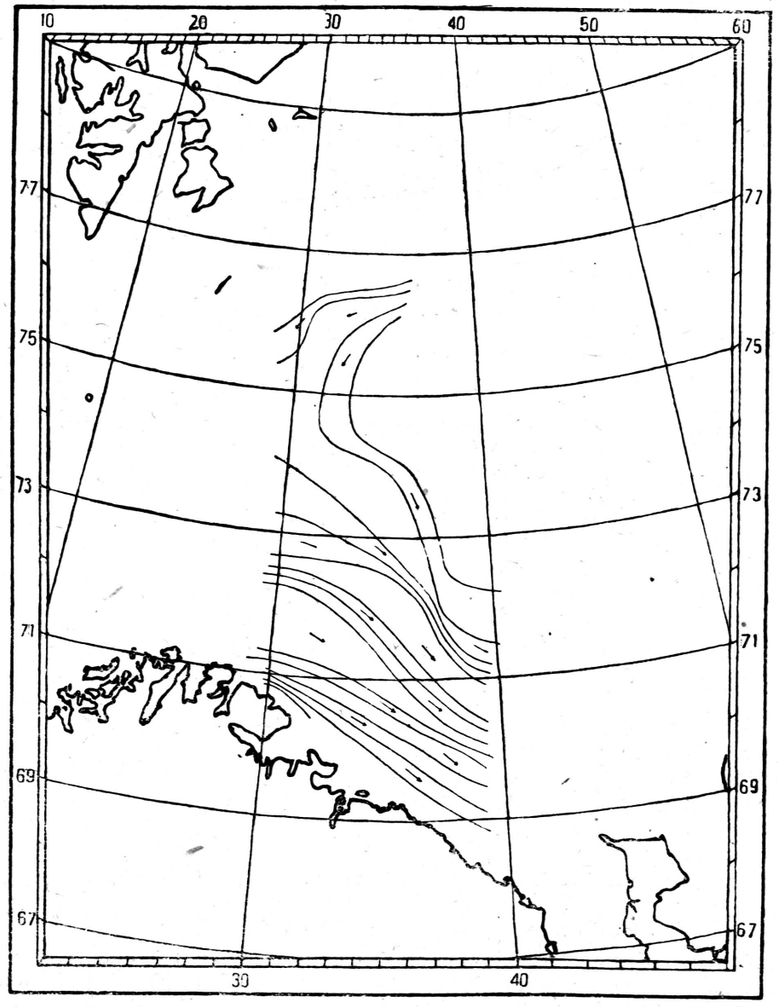

Рис. 14. Динамическая карта по работам 16 экспедиции.

Действительно, уже указывалось, что для Баренцова моря скорости течения вычисляются по формуле

$$C = \frac{4\,\Delta d}{L}$$

Положив в этой формуле $\Delta\ d = 10$ mm (динамические горизонтали на наших картах проведены через 10 mm) и деля $4\Delta = 40$ на расстояние между горизонталями в морских милях, снятое с той же карты, мы получим скорость поверхностного течения в данной точке моря.

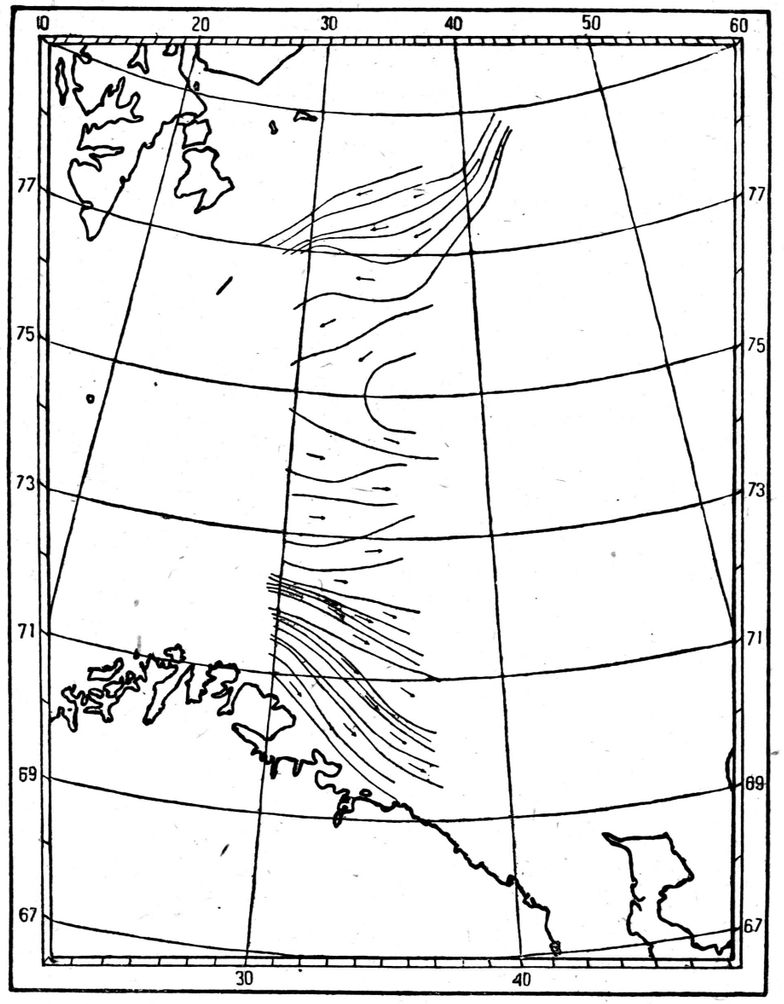

Рис. 15. Динамическая карта по работам 17 экспедиции.

Другое важное значение динамических карт в том, что они дают представление об истинном направлении и истинной скорости течений. Действительно, по наклону изостер на динамических разрезах мы можем судить только об общем направлении течения: движется ли оно, так сказать в разрез или из разреза Течения вдоль разреза, естественно ускользнули бы из нашего внимания. Также при динамической обработке мы получаем лишь проэкции скорости на направление перпендикулярное плоскости разреза.

С динамической же карты мы можем снять и истинное направление и истинную скорость течения. Что касается истинного направления течения, то

вода движется вдоль горизонталей и притом так, что горизонталь, соответствующая большей динамической высоте, если смотреть вниз по течению, находится вправо. Как определить истинную скорость течения—уже говорилось.

Вычисляя элементы Нордкапского течения по удельным об'емам, мы рассматривали это течение как реку, вливающуюся в Баренцово море и питаемую некоторыми внешними относительно Баренцова моря силами. Скорость этого течения, разная на различных глубинах, вызывает различный наклон изостерических поверхностей и отсюда, изучая распределение водных масс на данном участке моря, мы можем определить элементы течения, вызывающего это распределение.

Однако неравномерное распределение водных масс (наклон и непараллельность изостерических поверхностей) может вызываться не только откуда-то приходящим течением. но и местными явлениями. Действительно, выпадение осадков, испарение, таяние льдов, нагревание, приток береговых вод и т.д. не распространяются равномерно по всей поверхности моря и, благодаря этому, создается разность удельных об'емов на одинаковых глубинах и, следовательно, наклон изостерических поверхностей.

Из этих причин в таком бассейне как Баренцово море, если исключить влияние ветра и производимых им течений, наибольшее значение имеют постоянный приток береговых вод и распреснение под влиянием таяния льдов. Эти факторы создают в Баренцовом море как бы кольцо более легких вод, окружающих более тяжелые воды в центре моря.

Понятно, что, если бы Баренцово море было замкнутым бассейном и земля была бы неподвижна, то в нем образовалась бы система течений к центру моря на поверхности и к берегам на глубине, которая стремилась бы установить горизонтальность изостерических поверхностей.

Однако, благодаря вращению земли, даже в замкнутом бассейне направление циркуляции будет иным. Бьеркнес дал возможность вычислять элементы течений, вызываемых разностями в удельных об'емах, по формуле:

$$\frac{dC_r}{dt} = -\int vdp - 2\,\omega\,\frac{d\sigma}{dt}\,\mathrm{Sin}\,\varphi - R$$

где $\frac{dC_r}{dt}$ — ускорение циркуляции,

$A = -\int vdp$ — число соленоидов в данном контуре, вызывающее циркуляцию,

$R = \int f_t\, ds$ — влияние трения на движение жидкости,

$2\,\omega\,\frac{d\sigma}{dt}\,\mathrm{Sin}\,\varphi$ — влияние вращения земли на циркуляцию.

В установившемся движении ускорение циркуляции равно нулю. Далее, если движение установившееся и разрез сделан поперек течения, то нет течения в плоскости разреза. Отсюда трение, пропорциональное скорости течения, в плоскости разреза тоже равно нулю. При этих предположениях Сандстрем и Гелланд-Гансен [1] дали формулу

$$2\,\omega\,\frac{d\sigma}{dt}\,\mathrm{Sin}\,\varphi = -\int vdp$$

и

$$C_1 - C_0 = -\frac{\int vdp}{2\,w\,L\,\mathrm{Sin}\,\varphi} = \frac{p\,(v'-v'')}{2\,w\,L\,\mathrm{Sin}\,\varphi}$$

Эта формула совершенно аналогична выведенной в начале главы для течения, вливающегося рекой.

Таким образом в Баренцовом море, также как и в каждом небольшом бассейне существует своя собственная циклоническая система течений, в юго-западной части моря усиливающая Нордкапское течение.

Так как оба эти течения: вызванное внешними силами (Нордкапское) и вызванное внутренними силами—вычисляются по одному и тому же признаку—наклону изобарических поверхностей—то мы не в состоянии отделить одно

[1] Sändstrom I. W. und Helland-Hausen B. Ueber die Berechnung von Meeresströmungen. Rep. on Norwegian Fishery and Marine Invest. Vol II 1902. См. также. Smith E. H. A practical method for determining Ocean Currents. United States Coast uard Bull. № 14, 1925.

течение от другого и отсюда не можем в конечном итоге, пользуясь динамическим методом, подсчитать количество поступающих в Баренцово море Атлантических вод. Нам остается предположить, что скорость течения, вызываемого внутренними силами, незначительна по сравнению со скоростью Нордкапского течения и, в первом приближении, ею пренебречь.

При таком предположении интересно подсчитать среднюю скорость Нордкапского течения, получающуюся по динамическому методу и сравнить ее с данными, полученными нами в предыдущей главе. Имея в своем распоряжении вычисленные динамические глубины для какого-нибудь гидрологического разреза, это весьма не трудно сделать.

Возьмем для примера разрез по 30 меридиану 17-ой экспедиции и выпишем динамические высоты между станциями 1006 и 1022 в предположении, что на 200-метровой изобаре течения нет.

Таблица 12.

Динамические высоты на разрезе по 30 меридиану в 17-й экспедиции.

p \ cm	1006	1008	1009	1010	1011	1012	1014	1015	1016	1017	1018	1022	1022
0	623	573	536	520	522	499	499	488	489	499	507	506	556
10	580	533	497	484	488	467	466	455	456	465	471	467	511
25	516	478	443	432	436	419	417	418	407	416	420	415	456
50	422	396	366	357	356	345	341	344	355	338	344	340	373
100	264	248	232	226	221	217	213	217	210	212	215	210	232

В этой таблице динамические высоты, начиная от Норвежского берега постепенно уменьшаются до ст. 1016 и затем, к возвышенности Персея, опять увеличиваются. Это показывает, что направление течения около ст. 1016 меняется на обратное.

Вычисляя теперь скорости течения на отдельных горизонтах между станциями 1006—1016 и 1016—1022 отдельно по формуле

$$C = \frac{4\,\Delta d}{L}$$

при L равном, соответственно, 279 и 126 милям получаем

Таблица 13.

	Ст. 1006 — 1016			Ст. 1016 — 1022		
p	Δd	C	CΔp	Δd	C	CΔp
0	134	2.0	20	67	—2.1	—21
10	124	1.8	27	55	—1.7	—25
25	109	1.6	40	49	—1.6	—40
50	84	1.1	55	38	—1.2	—60
100	54	0.8	80	22	—0.7	—70
			ΣCΔp = 222			ΣCΔp = — 216

$$C_m = \frac{\Sigma C\Delta p}{p} = +1.1\ \text{cm/sec.} \qquad C_m = \frac{\Sigma c\Delta p}{p} = -1.7\ \text{cm/sec.}$$

В этой таблице знак + показывает направление течения на ост и знак — направление на вест. Общая средняя скорость течения по всему разрезу получается около 0.4 cm/sec.

Вычисляя таким же образом скорость течения по тому же меридиану от Норвежского берега и до той же широты, что и ст. 1016, в 16-ой экспедиции, а именно до ст. 967, мы получим скорость течения тоже около + 1.1 cm/sec.

Обращает внимание, что по сравнению со скоростями, вычисленными по температурным градиентам, скорости, вычисленные по удельным об'емам, почти в 4 раза меньше. Но здесь надо принять во внимание, что, во первых, вычис-

ляя последние скорости, мы допустили, что на 200 m течения нет. На самом же деле уже по изменению температур за время между 16 и 17 экспедициями мы видели, что течение существует на всех глубинах юго-западной части Баренцова моря. Это, как увидим ниже, подтверждается непосредственными наблюдениями над течениями. Во вторых, вычисляя скорости по удельным об'емам, мы получаем только проекцию скорости на направление, перпендикулярное плоскости разреза и, следовательно, истинная скорость и должна быть несколько больше. К последнему вопросу мы еще вернемся в следующей главе.

7. Наблюдения над течениями на суточных станциях.

Для наблюдений над течениями мы становились на якорь [1]. Одновременно для ориентировки в расстоянии 1—2 km ставилась вспомогательная веха.

Состояние погоды на всех суточных станциях в общем было очень благоприятно. Сила ветра колебалась от 1 до 2 баллов, и направление ветра в общем в течении суток сохранялось. Состояние моря было до 1 балла.

При наблюдениях над течениями, скорость которых незначительна, возникают опасения, не отразятся ли собственные движения корабля, который всегда в известных пределах „ходит на канате", на результатах наблюдений. Благодаря этим собственным движениям, может оказаться, например, что то, что мы считаем течением, является, в сущности, только результатом этих собственных движений.

Нансен рекомендовал для исключения собственных движений корабля при наблюдениях над течениями без постановки на якорь опускать одновременно две вертушки: одну на желаемую глубину, другую как можно глубже в слои, где предполагается отсутствие движений воды, и выводить течения, как разность показаний обеих вертушек.

Как показали наши наблюдения на 1003 станции, этот прием во всяком случае в Баренцовом море совершенно не применим. На глубине 250 m, т. е. в 19 m от дна мы наблюдали течения приливного характера разных направлений и скоростью до 10 cm/sec. Поэтому для наблюдений над течениями в Баренцовом море постановка на якорь необходима и необходимо, так или иначе исключать собственные движения корабля на якоре.

Единственный надежный для последнего путь это применение приемов, которыми широко пользуются в морской практике для определения циркуляций кораблей.

Из них можно рекомендовать следующие:

1) В некотором отдалении от корабля, стоящего на якоре, ставятся 2 вехи, расстояние между которыми и пеленг которых точно известны. Во время наблюдений эти вехи все время пеленгуются и по этим данным можно получить положение корабля в любой данный момент и отсюда скорость и направление изменения этого положения.

2) В некотором расстоянии от корабля ставится всего одна веха, но за то, кроме пеленгования, ведется еще одновременное измерение до нее расстояний каким нибудь дальномером. Понятно, что по этим данным также нетрудно вычислить положение корабля в любой данный момент.

Вехи для этой цели надо брать особого устройства с автоматическим приспособлением, благодаря которому длина буйрепа всегда будет приблизительно равна глубине места, где веха ставится, и, следовательно, собственных движений вехи не будет. Якорь вехи должен быть достаточно тяжел, чтобы не было сноса вехи течениями.

Буйреп нашей вехи длиной 366 m при наблюденях, например, на 1003 станции, был почти на 100 m больше глубины места. Поэтому, теоретически, на этой станции веха могла двигаться по площади равной 0.2 km². На ст. 965, где при той же длине буйрепа, глубина была 306 m площадь, в которой могла передвигаться веха, была около 0.1 km².

[1] Вес якоря 377 k, диаметр якорного троса 2,2 cm.

Хотя ветер на обеих станциях был приблизительно постоянен по направлению, направление течения менялось в течении суток. Не имея возможности учесть собственные перемещения вехи под совокупным действием ветра и течений, мы поневоле должны ими пренебрегать и считать ее неподвижной.

Другое упущение, сделанное мной, заключается в том, что веха только пеленговалась, но расстояния до нее не измерялось, так что и по этой причине судить о величине собственных движений корабля можно приблизительно.

Это заставляет сейчас несколько разобраться в величине и значении собственных движений корабля на якоре.

Эти движения можно разложить на три главных группы:

1) описывание кораблем окружности вокруг места якоря. Диаметр этой окружности зависит от глубины места, длины якорного троса и от силы течения, натягивающего трос. Эти движения вызываются изменениями в направлении ветра и течения и сопровождаются изменением пеленга вехи и изменением направления диаметральной плоскости (курса) корабля.

2) Движение корабля вдоль направления троса. Это движение вызывается переменой в скорости ветра и течения и сопровождается изменением пеленга на веху, но не изменением курса.

3) Вращение корабля около некоторой неопределенной, близкой к кораблю, точки троса. Это вращение, вернее колебание, обычное при несовпадающих направлениях ветра и течения, сопровождается изменением курса и большей частью очень малым изменением пеленга.

Переходя к изучению влияния собственных движений корабля, отметим, прежде всего, что, каковы бы ни были их скорость и направления, при достаточной частоте наблюдений они имеют весьма малое влияние на величину и направление постоянного течения, выводимого из наблюдений в продолжении лунных суток.

Действительно, при обработке течений все собственные движения корабля сами собой исключатся и останется, как составная часть постоянного течения, только расстояние между конечными пунктами, так сказать, между пунктом „отшествия" и „пришествия", которое нужно будет разделить на 24 ч. 50 м.— промежуток времени, из которого выводятся элементы постоянного течения.

Наибольшее расстояние между пунктами „отшествия" и „пришествия" равняется, понятно, диаметру циркуляции, которая может быть описана кораблем при данной глубине и при данной длине якорного троса.

Так, например, мы имели:

Таблица 14.

Станция	965	1003
Глубина в m	306	269
Длина якорного троса	600	800
Диаметр циркуляции (не считая провеса троса)	1040	1520
Ошибка в скорости пост. течения из за собств. движения корабля cm/sec	1.17	1.69

На наших станциях этих ошибок ожидать ни в коем случае нельзя. Действительно, приведем крайние направления ветра, диаметральной плоскости корабля и пеленга на веху, которые наблюдались нами на обеих станциях.

Таблица 15.

Станция		1003	965
Изменения	Ветра	от 280° до 20°	от 315° до 45°
	Курса	„ 300 „ 60	„ 280 „ 104
	Пеленга	„ 270 „ 305	„ 304 „ 19
Наиб. изменение направления ветра		100°	90°
„ курса		120°	184°
„ пеленга		35°	75°

Как видим из таблицы 15, ветер и пеленг на веху во время обеих станций менялись только в пределах четверти компаса, а курс в пределах половины компаса (совокупное действие ветра и течения).

В следующей таблице данные еще более утешительны. В ней приведены для обеих станций направления ветра, курса и пеленга на веху через 24 ч. 50 м., т. е. то, что определяет пункты „отшествия“ и „пришествия“ и с чем, в сущности, приходится считаться при выводе величины постоянного течения.

Таблица 16.

Станция	965		1003	
	нач.	конец	нач.	конец
Ветер	315°	45°	280°	350°
Курс	96	94	300	320
Пеленг	304	12	270	300
Измен. напр. ветра	90°		70°	
„ „ курса	2°		20°	
„ „ пеленга	68°		30°	

Небольшие вычисления и чертежи для данных наших станций, сделанные мною, принимая во внимание все сказанное выше, позволяют утверждать, что ошибка в определении скорости постоянного течения, зависящая от собственного движения корабля, не превышает для обеих станций 0.5 cm/sec.

Другим важным условием для вывода данных постоянного течения, как уже говорилось, является достаточное число наблюдений. Что касается наблюдений поплавками Митчеля, то мы делали наблюдения через каждые полчаса и это вполне достаточно, тем более, что мы перекрыли нашими наблюдениями лунные сутки на $1^1/_2$ часа на 965 станции, а на ст. 1003 на 7 часов, что позволило вывести постоянное течение, как среднее из нескольких, как бы один за другим начинающихся и один за другим кончающихся, лунных дней.

Для глубинных наблюдений дело обстоит хуже. Не имея достаточного технического оборудования и помня, что непосредственных наблюдений над течениями в Баренцовом море до наших суточных станций не было, было решено, прежде всего, получить хотя бы ориентировочные данные, которые в дальнейшем позволили бы более сознательно поставить вопрос о суточных станциях вообще. Поэтому я предпочел большее число горизонтов частоте наблюдений на отдельных горизонтах и мы делали наблюдения на 25, 50 и 100 m через каждые $1^1/_2$ часа, а на глубине 250 m еще реже, вернее тогда, когда соответственная вьюшка была свободна от батометров.

Несомненно поэтому, что на этих горизонтах ошибка в скорости и направлении постоянного течения, происходящая от недоучета собственных движений корабля, может быть значительно больше, но во всяком случае она не может исказить характер результата.

Гораздо больше могут сказаться ошибки, вызываемые собственными движениями корабля, на скорости и направлении течений в каждый отдельный момент.

Для ст. 1003, которой я особенно интересовался, я вычислил изменения курса, пеленга и курсового угла вехи (угол между диаметральной плоскостью и направлением на веху) для каждого получаса, при чем получил следующее:

Таблица 17.

Курс изменялся в продолжении получаса:

Изменение курса	0	0°—5°	5°—10°	10°—15°	15°—20°	20°—25°	25°—30°	30°
Число наблюдений	7	24	11	5	5	6	2	4

Пеленг изменялся в продолжении получаса:

Изменение пеленга	0°	1°	2°	3°	4°	5°
Число наблюдений	14	15	14	7	8	4

Не имея возможности вычислять точно, я пробовал делать некоторые допущения, причем оказалось, например, что для изменения пеленга на веху в течении получаса на 5 градусов необходима скорость собственного движения корабля около 6 cm/sec, и эта цифра, повидимому, вообще является предельной для собственных движений корабля на обоих наших станциях [1].

Вычислив на основании некоторых допущений поправки на собственные движения корабля, я предпочел, однако, не доверяя им особенно, не вводить их в вычисления и считать, в первом приближении, что корабль был во время наших наблюдений абсолютно неподвижным. Это предположение совместно с недостаточной частотой наблюдений, понятно, ограничивает то число выводов, которые могли бы быть сделаны из наших наблюдений.

Рассмотрим сначала несколько подробнее результаты наших наблюдений на ст. 1003.

Что касается постоянного течения, то оно приблизительно одинаково по направлению и скорости на всех глубинах, и его направление вполне об‘ясняется прилежащим рельефом дна.

Действительно, как уже указывалось, на восток от ст. 1003 расположена Центральная впадина Баренцова моря, и Нордкапские воды, перевалив через 200-метровые глубины между 30 и 40 меридианами и не встречая на своем пути здесь новых препятствий, вливаются в эту впадину, прижимаясь вправо т. е. сворачивая к югу, для того, чтобы дальше образовать в этой впадине циклоническое движение опять таки под влиянием рельефа, а именно, под влиянием мелководной юго-восточной части Баренцова моря.

[1] При более точных работах по изучению приливо-отливных течений с этой ошибкой придется очень и очень считаться и в этом отношении из нашего опыта вытекает: 1) совершенно необходимо пользоваться вспомогательными вехами, при 2 вехах все время пеленгуя вехи, а при одной вехе, пеленгуя веху и одновременно измеряя до нее расстояние, 2) наилучшая погода для измерения течений на якоре —это ровный ветер, силы которого недостаточно для дрейфования корабля, но достаточно для натяжения якорного троса и удерживания корабля в одном и том же направлении, несмотря на переменные течения.

Что касается приливо отливных течений, то на этой станции они обнаруживают замечательную правильность, из которой лично я вывожу, что ни собственные движения судна, ни ошибки наблюдений не были достаточно велики, чтобы исказить характер явлений.

Таблица 18.

Ст. 1003. Постоянное течение.

Глубина в m	0	9	25	50	100	250
Направление	164°	171°	159°	176°	160°	155°
Скорость cm/sec	3.5	3.3	4.2	3.2	5.5	3.8

На рисунках 16—20 представлены центральными векторами в одном и том же масштабе направления и скорости течений на 0, 25, 50, 100 и 250 m ст. 1003, причем постоянное течение на каждом горизонте исключено.

Рассматривая эти чертежи, мы видим, что приливо-отливные течения полусуточного характера ярко выражены на всех горизонтах вплоть до придонного, причем бросаются в глаза следующие особенности:

1. На 0 m направление течения меняется по часовой стрелке, только в нескольких случаях и немного отступая от этого правила. Это случилось при зюд-остовом и норд-вестовом течениях, при которых вообще направление течения менялось гораздо медленнее, чем при течениях норд-остовой и зюд-вестовой четвертей, и, помимо неустойчивости направления течения, может быть об'яснено несовершенством метода наблюдения (поплавки Митчеля) и влиянием собственных движений корабля.

На 25 и 50 m изменение направления приливо-отливных течений также идет по часовой стрелке и отступлений от этого не замечалось.

На 100 m в общем течения меняются по часовой стрелке, но от 6 ч. 30 м. до 8 ч., от 12 ч. 30 м. до 13 ч., от 14 ч. до 15 ч. 30 м., от 17 ч. до 18 ч. 30 м. 5 июля и от 8 ч. до 9 ч. 30 м. 6 июля течение поворачивает против часовой стрелки.

Напомним, что на 0 m мы также встречались с поворотом течения против часовой стрелки, но это явление на 0 m было непродолжительно, не больше чем на полчаса, и если бы мы вычертили диаграмму для 0 m по точкам, взятым через $1^1/_2$ часа, то этого явления мы бы не заметили [1].

На 250 m, в противоположность всем остальным горизонтам, течение менялось за небольшими исключениями против часовой стрелки. К сожалению, на этом горизонте мы принуждены были вести наблюдения весьма не систематично, и поэтому при выводах из этих наблюдений приходится быть особенно осторожным.

2. Сопоставляя данные приливо-отливных течений для различных горизонтов, получаем таблицу 19-ую.

Из этой таблицы следует, что на всех горизонтах приливо-отливные течения достигают наибольшей скорости в зюд-остовом и норд-вестовом секторах. В этих же секторах наблюдались наименьшие угловые скорости изменения направления течения (течения наиболее устойчивые).

При более внимательном рассмотрении черт. 16—20 получаем направление прилива на 1003 станции на всех горизонтах по румбу 135—315° и, следовательно, направление котидальной линии 45—225°.

[1] Обращает внимание, что на глубине 100 m (рис. 19) приливное течение в продолжении суток как будто бы не два, а три раза обходит картушку компаса. Возможно, что данные наблюдения в 21 h 30 m 5 июля неправильно записаны. Как будто последнее предположение подтверждается сравнением хода изотерм с направлением течения на рис. 26, но выяснить, так ли это, и нет ли в данном случае каких либо других причин, мне не удалось.

Таблица 19.

Ст. 1003. Приливо-отливные течения.

Сектор \ Горизонт		0	25	50	100	250
0°—30°	Продолжит. течения	3.8	4.2	3.8	6.0	4.5
	Макс. скорость	11.8	14.7	13.7	9.2	5.7
	Угл. скорость	24	22	24	15	20
90°—180°	Продолжит течения	6.7	6.6	8.7	10.3	9.5
	Макс. скорость	17.4	23.8	16.2	16.3	6.5
	Угл. скорость	14	14	10	9	9
180°—270°	Продолжит. течения	4.2	5.5	4.0	3.7	7.0
	Макс. скорость	7.8	14.3	13.3	17.3	6.3
	Угл. скорость	22	16	23	24	13
270°—360°	Продолжит. течения	10.2	8.5	8.3	4.8	3.8
	Макс. скорость	18.2	19.2	15.8	18.8	9.2
	Угл. скорость	8	11	11	19	24

В этой таблице в графе „продолжительность течения“ приведена в часах продолжительность течения, наблюдавшегося в данном секторе в течении лунных суток (24 ч. 50 м.); в графе „максимальная скорость“ даны наибольшие скорости приливо-отливного течения (без постоянного течения) в cm/sec, наблюдавшиеся в данном секторе; в графе „угловая скорость“ даны средние угловые скорости (градус/час) изменения направления течения в данном секторе.

Максимальные скорости приливо-отливных течений наблюдались на 25 м. Как увидим ниже, одновременно в этом слое нами наблюдались максимальные амплитуды суточных колебаний температуры.

3. Чрезвычайно интересно было бы сопоставить одновременные направления приливо-отливных течений на разных горизонтах. Данных у нас для этого недостаточно, но все же можно сказать, что в общем течение на глубинах отклонено вправо. Это правило было верно почти всегда для 0, 25 и 50 m и верно в большинстве случаев для 100 m.

На ст. 965 постоянное течение также почти одинаково по направлению на всех горизонтах. К сожалению наблюдений в придонном слое мы не делали.

Таблица 20.

Ст. 965. Постоянное течение.

Глубина в m	0	9	25	50	100	250
Направление	293	303	328	333	315	331
Скорость cm/sec	2.8	3.0	7.0	6.7	7.0	8.9

Что касается направления наблюденного нами постоянного течения, то на этой станции оно вполне согласуется с наблюдавшимися нами на северных станциях разрезов по 30 меридиану глубинными температурами.

Действительно, как это уже указывалось в главе 4-ой и в июне и в августе на станциях близь южного склона возвышенности Персея мы обнаружили некоторое повышение температур, которое можно было об'яснить только тем, что воды Нордкапского течения, входя в Баренцово море между Нордкапом и о. Медвежий и встречая на востоке мелководье, не позволяющее всей массе воды проникнуть вглубь моря, образуют в западной части Баренцова моря

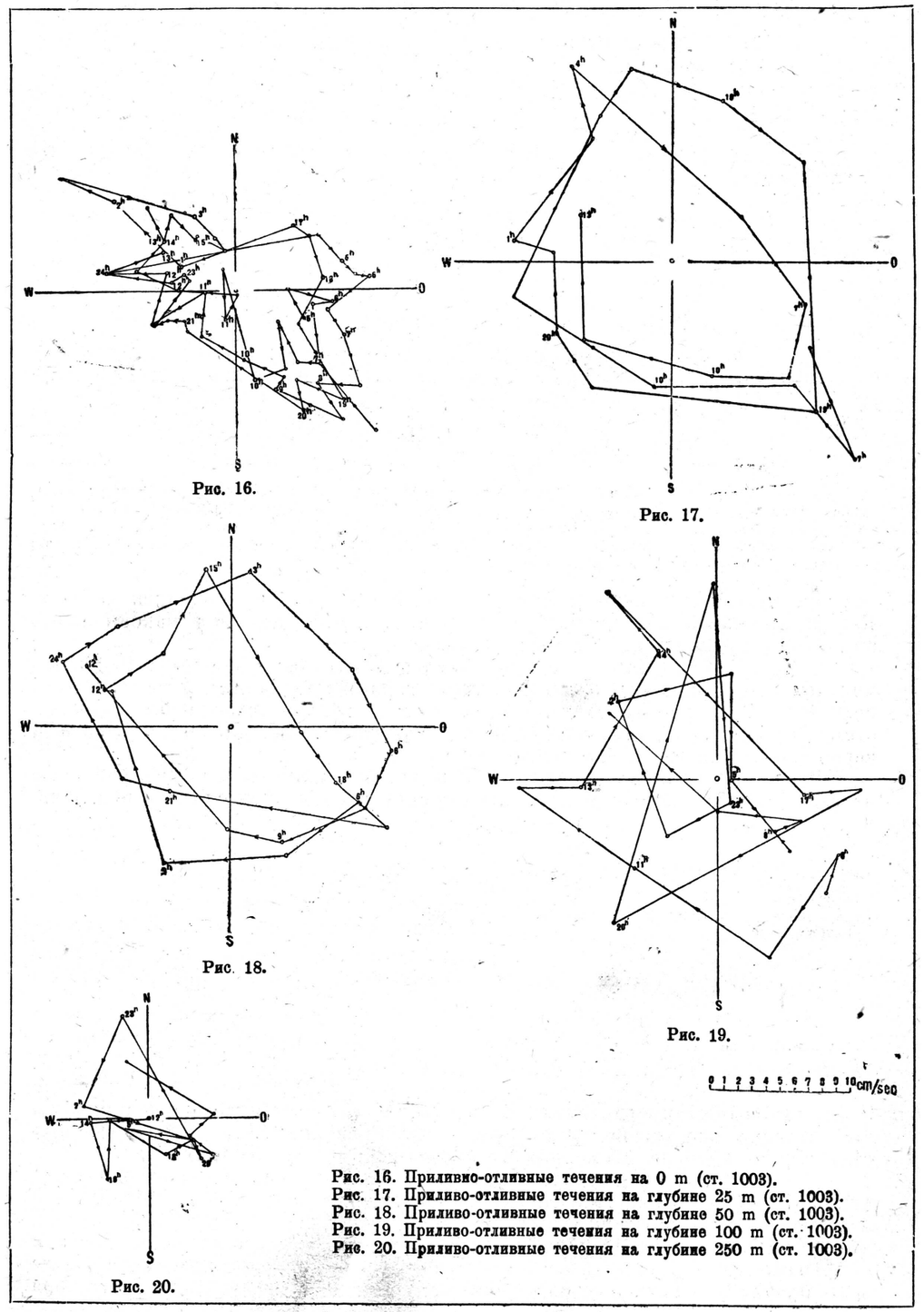

Рис. 16. Рис. 17. Рис. 18. Рис. 19. Рис. 20.

Рис. 16. Приливно-отливные течения на 0 m (ст. 1003).
Рис. 17. Приливо-отливные течения на глубине 25 m (ст. 1003).
Рис. 18. Приливо-отливные течения на глубине 50 m (ст. 1003).
Рис. 19. Приливо-отливные течения на глубине 100 m (ст. 1003).
Рис. 20. Приливо-отливные течения на глубине 250 m (ст. 1003).

(западнее 35 меридиана) циклоническое движение. При циклоническом же движении вполне естественно, что температуры на периферии больше, чем в центре. Подтверждение этому обоснованию мы видели в главах 5 и 6, при чем получили даже представление о количестве воды, которая, не дойдя до 35 меридиана, возвращается обратно. После наших работ на 965 станции этот факт, о котором раньше можно было только догадываться, становится вполне доказанным.

Обращает на себя внимание в таблице постоянного течения ст. 965 большая разница в скорости постоянного течения в поверхностных и глубинных слоях. Эта разница согласуется с тем, что циклоническое движение, следовательно, обратное движение Нордкапской воды вызывается, главным образом, рельефом дна и последний, вероятно сказывается больше в глубинных слоях, чем в поверхностных. Последние же вовлекаются в циклоническое движение, самым движением глубинных слоев (трение).

Что касается приливо-отливных течений, то здесь можно подметить те же явления, что и на ст. 1003. Приливные течения сильнее на глубинах, чем на поверхности, меняют направление по часовой стрелке и с глубиной отклоняются вправо. Направление котидальной линии для всех глубин приблизительно 150°—330°.

Таблица 21.

Ст. 965. Приливо-отливные течения.

Сектор \ Горизонт		0	25	50	100	250
0°—90°	Продолжительность течения	8.7	9.0	6.0	4.0	8.5
	Максимальная скорость	10.5	8.4	16.3	11.0	
	Угловая скорость	10	10	15	22	
90—180	Продолжительность течения	4.6	3.5	3.5	6.5	16.5
	Максимальная скорость	2.8	17.4	19.2	22.8	
	Угловая скорость	19	26	26	14	
180—270	Продолжительность течения	9.1	10.3	10 0	4.0	11.4
	Максимальная скорость	7.9	8.7	19.3	8.5	
	Угловая скорость	10	9	9	23	
270—360	Продолжительность течения	2.4	2.0	5.3	10.3	3.1
	Максимальная скорость	10.4	4.2	8.8	7.2	
	Угловая скорость	38	45	17	9	

Однако на ст. 965 мы не находим той правильности изменения элементов приливо-отливных течений, какую мы наблюдали на ст. 1003. Отдельные наблюдения иногда совершенно выскакивают из ряда других настолько, что ими искажаются средние, которые могли бы быть выведены, а между тем исключать их нет достаточных оснований.

Вспомнив, что, несмотря на то, что на ст. 965 избыток якорного троса над глубиной был меньше, чем на ст. 1003, но зато направление и сила ветра, а отсюда, пеленг на веху и курс менялись в бо́льших пределах, мы должны прийти к заключению, что собственные движения корабля на 965 станции сказались гораздо больше, чем на 1003 станции. Это подчеркивает необходимость при изучении, именно приливо-отливных течений точного учета собственных движений корабля, способами, о которых уже говорилось и более частых, чем это делали мы, наблюдений.

Как это уже указывалось, мы делали наблюдения над течениями еще в одном месте, а именно около 77° 30 N и 30° 00′ E. Эту станцию, мы начали делать, как только, делая разрез по 30 меридиану, мы перевалили через хребет возвышенности Персея. Начали мы станцию в тумане, не подозревая о чрезвычайной близости кромки льда. Через несколько часов после начала наблюдений надвинувшаяся кромка заставила нас 2 раза переменить якорное место и затем совсем прекратить наблюдения. Таким образом получились 3 станции: 1022, 1023 и 1024 с соответственными глубинами 210, 181, и 196 m, но в очень небольшом (не больше 2 миль) расстоянии друг от друга, так что, в сущности их можно считать за одну станцию. Всего с перерывом наши наблюдения продолжались с 15 ч. 30 м. 5 августа по 4 ч. 6 августа, следовательно, около половины лунных суток, и это обстоятельство, принимая во внимание ярко выраженный полусуточный характер прилива, позволяет сделать некоторые выводы.

Наиболее полно нами обследован горизонт 25 m. Всего было сделано 8 наблюдений через каждые полтора часа с одним промежутком в 3 ч. 30 м. т. е. фактически только с одним пропущенным наблюдением.

Вычисляя из этих 8 наблюдений постоянное течение мы получаем:

Направление постоянного течения 228°
Скорость „ „ 5.0 cm/sec.

На 965 и 1003 станции мы получили приблизительно одинаковое направление постоянного течения для всех глубин. Предполагая то же для ст. 1022, 23 и 24 и вычисляя постоянное течение из всех наблюдений, сделанных нами на 25, 50 и 100 m, мы получим;

Направление постоянного течения 204°
Скорость „ „ 3.6 cm/sec.

На эти результаты, выведенные из немногих наблюдений в продолжении только лунных полусуток, надо смотреть только как на весьма приближенные. Но как бы приближенны они ни были, они чрезвычайно важны в географическом отношении. Действительно, наши станции расположены в конце глубоководного языка, который тянется от пролива между Землей Виктории и Землей Франца Иосифа и врезывается с севера в возвышенность Персея.

До наших наблюдений этого года многое говорило за то, что в пролив между Землей Франца Иосифа и Землей Виктории должна входить ветка течения, огибающего Шпицберген с севера и прижимающаяся к восточным мелководьям Шпицбергена. Сейчас можно спорить о том, что направление и скорость этого течения определены нами не совсем точно, но подвергать сомнению существование этого течения нельзя. Лично я предлагаю назвать это течение в честь выдающегося русского океанографа течением Шокальского.

Приливо-отливные течения и здесь изменяют направление по часовой стрелке. Направление котидальной линии около 135—315 градусов. Таким образом и здесь замечается в этом отношении влияние большой Атлантической приливной волны, входящей в Баренцово море между Нордкапом и Шпицбергеном.

Во время наших экспедиций у нас не было мареографа, позволяющего производить непосредственные наблюдения в открытом море над приливо-отливными колебаниями уровня. Поэтому для суждения о возможной величине амплитуды прилива в точках наших суточных станций воспользуемся известной формулой Комоа, связывающей амплитуду прилива (H), скорость приливного течения (v) и глубину места (h), а именно

$$H = 2\,v\sqrt{\frac{h}{g}},$$

где g—ускорение силы тяжести.

Вычисляя по этой формуле, получим следующую табличку:

Станции	965	1003
Глубина	306	269
Максим. скорость пов. течения в cm/sec	10.4	18.2
Амплитуда прилива в m	1.1	1.9

8. Годовые и сезонные колебания температур.

Наши повторные разрезы по 30 и 35 меридианам показали, что, в сущности, в рассматриваемом нами районе нет ни одной точки, в которой температура не изменилась бы за 45—50 дней, истекших за время между разрезами и именно в сторону повышения

Эти изменения, захватывающие, как это видно из рассмотрения изотермоградиентов (рис. 21 и 22), все слои до самых глубинных, не могут быть об'яснены влиянием летнего прогрева Баренцова моря. Причины их надо искать гораздо выше „вверх по течению“, и местные условия могут внести только некоторые поправки и то только для самых поверхностных слоев, но не определить характера этих изменений. Другими словами, самый факт изменения температур по времени является показателем непосредственного и превалирующего над другими условиями влияния Нордкапского течения, во всех точках этого района пропорционального средней температуре вступающего в Баренцово море Нордкапского течения.

Последняя, однако, подвержена значительным колебаниям как в течении одного года, так и из года в год.

Как раз в районе наших разрезов сделаны многочисленные станции и разрезы по Кольскому меридиану (33° 30′ E) сначала Мурманской Научно-Промысловой Экспедицией, а начиная с 1921 года, Мурманской Биологической станцией. Данные этих наблюдений представляют собой богатейший материал для суждения об изменениях средней температуры Нордкапского течения.

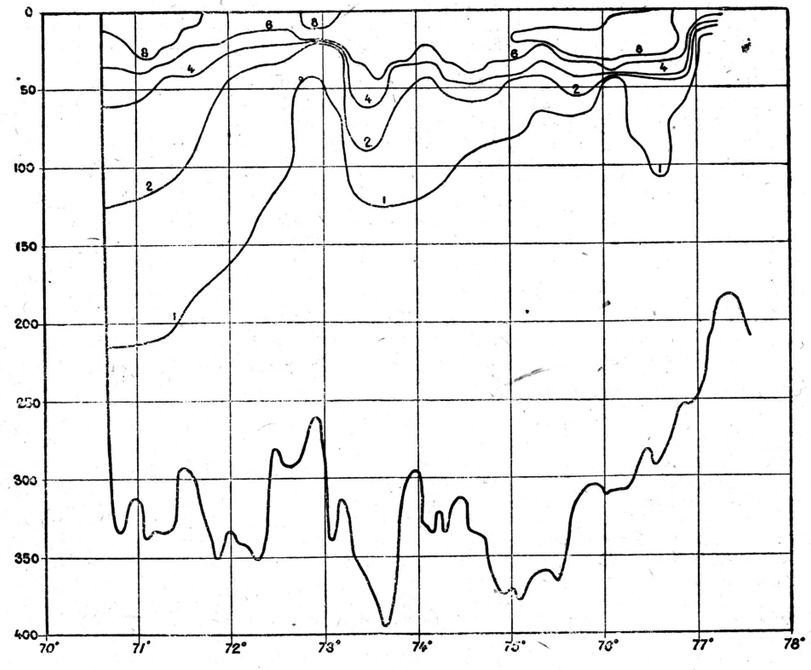

Рис. 21. Изотермо-градиенты на 30 меридиане (сотые градуса в сутки).

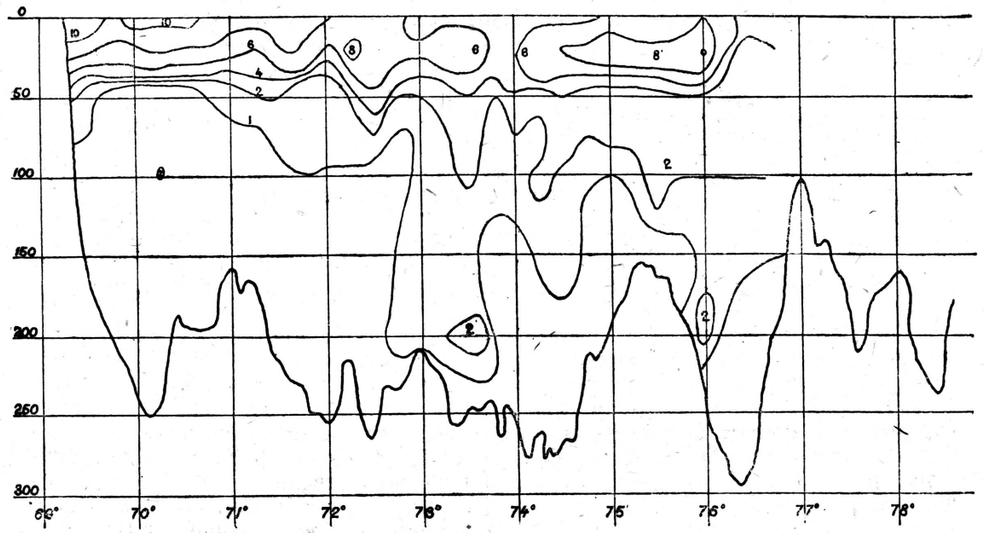

Рис. 22. Изотермо-градиенты на 35 меридиане (сотые градуса в сутки).

В таблице 22 даны вычисленные мною самым обыкновенным способом средние температуры разрезов по Кольскому меридиану от берега до 72°30′ N от поверхности до 200 m. [1].

Таблица 22.

Средние температуры разрезов [2].

Год	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1900	—	—	—	1.97	—	2.97	—	3.95	3.85	—	3.78
1901	2.27	2.35	2.10	2.18	2.61	3.07	—	—	—	—	—
1902	3.05	—	—	—	2.23	—	—	—	—	—	—
1903	—	2.27	—	1.96	—	—	4.10	—	—	3.89	—
1904	—	—	2.34	2.60	—	—	4.65	—	—	—	—
1906	2.85	—	—	2.47	—	—	3.94	—	—	—	—
1921	—	—	—	3.91	—	—	5.45	—	—	—	—
1922	—	—	—	2.52	—	—	5.06	—	—	5.03	—
1923	—	3.13	—	—	—	—	—	—	—	4.00	—
1924	—	—	—	2.50	—	—	—	—	—	—	4.54
1925	—	—	—	—	2.97	—	4.75	—	—	—	—
1926	—	—	—	—	—	—	3.84	—	—	—	4.13
1927	—	—	—	2.67	—	—	4.13	—	—	—	—
1928	—	2.56	—	—	3.02	—		4.92	—	—	4.16

Для того, чтобы иметь возможность сравнивать средние температуры отдельных разрезов нам надо привести их к одним и тем же датам, а для этого нам необходимо прежде всего вычислить градиенты температуры по времени. Сделаем это для летних месяцев.

[1] Н. Зубов. Средние температуры гидрологической станции и разреза. Записки по гидрографии т. 51 1926.

[2] Разрезы по Кольскому меридиану по 1906 г. сделаны Мурманской научно-промысловой экспедицией и описаны в трудах экспедиции (Книпович, Брейтфус). Начиная с 1921 г. разрезы выполняются Мурманской биологической станцией. Часть разрезов опубликована в ст. ст. Дерюгина, Клюге и Книповича. Разрез VIII—1926 г. сделан герм. эксп. судном „Zieten“ и опубликован в ст. Schulz B. und Wulff. A. Hydrographische und planktonolog. Ergebnisse der Fahrt des Fischereischutzbootes Zieten in das Barentsmeer in August—September 1926. Berichte der Deutschen Kommission für Meeresforschung, N. F., B. III, H. 3 (три), 1927.

Разрезы II—1922, VI и VIII—1925, XII—1926 и все разрезы 1927 и 1928 еще нигде не опубликованы и интересующие меня данные предоставлены мне Мурманской биологической станцией, за что чрезвычайно признателен.

Разрезы IX и XII—1900, IV—1901, XI—1903 и IV—1904 доведены только до 72 параллели, разрезы II—1903 и II—1905 только до 71° 30′ N, разрез VI—1901 сделан от 70° 00′ до 71° 30′ N и разрез VI—1902 от 70° 00′ до 72° 00′ N.

Таблица 23.

Градиенты температуры по времени разрезов по Кольскому меридиану в мае—августе (сотые градуса в сутки).

Год	Дата разреза	Средняя температура разреза	Дата разреза	Средняя температура разреза	Разность температуры	Число дней	Градиент температуры по времени
1900	22 V	1.97	15 VII	2.97	1.00	53	1.9
1901	29 „	2.18	10 „	3.07	0.89	42	2.1
1903	5 „	1.96	10 VIII	4.10	2.14	97	2.2
1904	9 „	2.60	16 „	4.65	2.05	99	2.1
1906	5 „	2.47	2 „	3.94	1 47	85	1.7
1921	29 „	3.91	13 „	5.45	1.54	76	2.0
1922	11 „	2.52	24 „	5.06	2.54	105	2.4
1925	5 VI	2.97	18 „	4.75	1.78	74	2.4
1927	27 „	2.67	6 „	4.13	1.46	70	2.1
1928	3 „	3.02	14 IX	4.92	1.90	103	1.8
					Средний		2.1

Вычисленные в этой таблице градиенты температуры по времени позволяют привести средние температуры летних разрезов таблицы 22 к одним и тем же датам, а именно к 1/VI и к 1/VIII.

Таблица 24.

Приведенные средние температуры разрезов и отклонения от средних многолетних.

Год	1 июня		1 августа	
	Температура	Отклонения	Температура	Отклонения
1900	2.12	— 0.62	3.13	— 0.67
1901	2.22	— 0.52	3.52	— 0.52
1902	1.91	— 0.83	3.21	— 0.83
1903	2.53	— 0.21	3.88	— 0.16
1904	3.06	+ 0.32	4.32	+ 0.28
1906	2.92	+ 0.18	3.91	— 0.13
1921	3.95	+ 1.21	5.19	+ 1.15
1922	3.00	+ 0.26	4.48	+ 0.44
1924	2.58	— 0.16	3.88	— 0.16
1925	2.85	+ 0.11	4.32	+ 0.28
1926	2.04	— 0.70	3.34	— 0.70
1927	2.73	— 0.01	4.01	— 0.03
1928	2.97	+ 0.23	4.11	+ 0.07
Средняя	2.74		4.04	

Из таблицы 24 видно, что температура вод Нордкапского течения весьма различна для различных лет и отсюда весьма различно количество тепла, приносимого этим течением в Баренцово море.

Этот факт известен давно, подтвержден исследованиями Мурманской Научно-Промысловой Экспедицией (Книпович, Брейтфус) и даже поставлен в связь с подобными же колебаниями температур в Атлантическом течении у берегов Норвегии (Гелланд-Гансен, Нансен). Факт этот несомненно имеет громадное значение, но ни об'яснять его, ни делать из него детальные выводы не входит в задачи настоящей работы.

Воспользуемся далее многолетними наблюдениями на Кольском меридиане и сделанными мною вычислениями (см. прим.) и вычислим градиенты температуры по времени на различных глубинах по Кольскому меридиану в различные годы.

Рассматривая таблицу 25 мы видим, что, как правило, градиент уменьшается с глубиной и, что по годам градиенты температуры на разных глубинах сильно отличаются друг от друга [1].

[1] Отметим непонятный отрицательный градиент на глубине 200 m в 1921 г. Выходит, что здесь в августе вода была холоднее, чем в мае.

Таблица 25.

Средние градиенты температуры по времени по Кольскому меридиану (до 72° 30′ N) в мае—августе (сотые градуса в сутки).

	1901	1903	1904	1996	1921	1922	Средн.
0	8.5	4.8	6.1	5.8	4.6	7.1	6.2
10	7.9	4.7	5.9	5.8	5.0	6.8	6.0
25	5.0	4.4	5.2	4.9	4.8	6.3	5.1
50	2.3	3.0	2.4	2.1	2.8	2.2	2.4
100	1.4	1.7	1.4	1.0	1.6	1 4	1.4
150	0.9	0.9	1.0	0.5	1.0	1.2	0,9
200	0.2	0.7	0.3	0 3	—0.3	1.1	0 5
Средн.	2 1	2,2	2.1	1.7	2.0	2.4	2.1

Приведем теперь для сравнения, помимо рис. 21 и 22, на которых проведены изотермо-градиенты, также средние градиенты температуры по времени для различных глубин, полученные на наших разрезах.

Таблица 26.

Средние градиенты температуры по времени в июне—августе 1928 г. на различных глубинах в районе 30—35 меридиана (сотые градуса в сутки).

Глубина в m	Меридиан 30	Меридиан 35	Средние	Средние на Кольск. меридиане
0	7.2	7.4	7.3	6.2
10	7.2	7.3	7.2	6.0
20	7.1	7.1	7.1	—
25	—	—	—	5.1
30	6.0	5.9	5.9	—
40	3,8	3.2	3.5	—
50	2.9	2.3	2.6	2.4
75	1.4	1,5	1.4	—
100	1.1	1.2	1.1	1.4
150	0.7	0.7	0.7	0.9
200	0.4	0.5	0.4	0.5

Но вернемся теперь назад к таблице 22. Из нее видно, что еще более чем из года в год, изменяются средние температуры разрезов по Кольскому меридиану в продолжении каждого отдельного года, при чем, повидимому, минимум этих средних температур приходится на апрель—май, а максимум на август—сентябрь.

Если сравнить не средние, а наблюденные температуры на различных глубинах, то обнаружится еще одна характерная особенность.

Воспользуемся для этой цели данными отдельных станций по Кольскому меридиану, а именно, станций около 71° 30′ N. Эти станции расположены на северном склоне возвышенности в месте, где изотермы изогнуты книзу, следовательно, в месте, где наиболее сильно сказывается Нордкапское течение.

Вообще, конечно, сравнивать данные отдельных станций для выводов об изменении в температурах Норкапского течения можно только с величайшей осторожностью и только при полной уверенности в координатах этих станций.

Из рассмотрения хода изотерм по 35 меридиану 17 экспедиции, мы видим, что в некоторых местах Баренцова моря градиенты температуры по пространству настолько велики, что без уверенности в координатах при таком сравнении можно притти к совершенно неправильным выводам.

Но в данном случае есть благоприятные для такого сравнения обстоятельства. Во первых, станции района 71° 30′ N по Кольскому меридиану настолько близки от берега, что трудно предполагать особые ошибки в определении места в море, во вторых, вблизи этого места нет особенностей в рельефе, которые могли бы вызвать большие градиенты температуры по пространству и, наконец, в третьих, средние температуры этих станций в разные месяцы и годы дают полное совпадение (по характеру изменений) с средними температурами приведенных в таблице разрезов.

Выберем год, в который в этой точке моря сделано наибольшее число станций (Мурманская Научно-промысловая экспедиция).

Таблица 27.

Температуры станций по Кольскому меридиану около 71° 30′ N.

Год		1902			1903				
Месяц		VI	XI	XI	II	IV	V	VIII	XI
Число		15	5	14	2	3	4	10	7
№ станции		647	759	761	815	834	842	901	947
Широта		71°30′	71°20′	71°40′	71°30′	71°30′	71°25′	71°42′	71°30′
Долгота		33°30′	33°30′	33°30′	33°30′	33°30′	33°30′	33°10′	33°30′
Глубина в m	0	3°42	3°62	3°54	3°10	2°61	2°67	6°50	4°33
	10	2.94	3.60	3.65	3.10	2.61	2.68	6.49	4.34
	25	2.93	3.62	3.64	3.10	2.52	2.69	6.30	4.35
	50	2.83	3.65	3.62	3.10	2.53	2.65	4.29	4.30
	100	2.45	3.65	3.60	3.06	2.52	2.60	3.47	4.23
	150	2.58	3,85	3.71	3.09	2.51	2.54	3.20	4.10
	200	2.00	3.74	3.46	3.09	2.49	2.50	2.81	2.52

Из этой таблицы (хотя августовские станции несколько отличаются по широте) ясно, что если максимум температуры приходится на поверхности моря в августе, то на глубинах он приходится на ноябрь. Этот факт запаздывания максимума температур на глубинах Нордкапского течения, подмеченный еще Н. М. Книповичем (давшим специальные графики годового хода температур на различных глубинах Баренцова моря [1]), подтверждается и новейшими наблюдениями.

Например, в 1922 г. Мурманской биологической станцией на 71° 30′ и 33° 30′ наблюдались следующие температуры:

Таблица 28.

Месяц		V	VIII	XII
Число		10	24	1
Глубина в m	0	2°.2	9°.9	5°.0
	10	3.0	9.9	5.0
	25	3.1	9.8	5.0
	50	3.1	5.7	5.0
	100	2.5	4.5	5.0
	150	2.0	4.1	4.4
	200	1.2	3.9	4.0
	Средняя	2.7	5 5	4.7

Об'яснение этого факта лежит в том, что с началом осени прогретые летом воды Нордкапского течения на своем пути в Баренцово море начинают охлаждаться с поверхности. Под влиянием охлаждения плотность верхних слоев повышается и равновесие слоев нарушается. Возникают конвекционные токи, перемешивающие слои, образующие гомотермию верхних слоев и распространяющиеся все глубже и глубже.

[1] Книпович Н. М. Основы гидрологии Европейского Ледовитого океана. СПБ, 1906.

К 1 декабря 1923 г., например, конвекционные токи дошли до глубины свыше 100 m. Слои ниже этой глубины конвекционными токами захвачены еще не были и потому на их температуре зимнее охлаждение еще не сказалось. На эти глубины еще продолжала поступать вода „сверху по течению", сохранившая следы летнего режима. Естественно, что наблюдения обнаружили в в декабре на глубинах более высокие температуры, чем в августе.

Ко 2 февраля 1903 г. конвекционные токи захватили весь слой в 200 m и в дальнейшем температура этого слоя понижалась, при условии сохранения гомотермии, приблизительно до 4 мая, когда вновь начали создаваться летние вертикальные градиенты температуры.

Из этого об'яснения и того факта, что чем выше „вверх" по Нордкапскому течению, тем температура выше, вытекает, что минимум температуры на всех глубинах достигается в момент прекращения вызванных зимним охлаждением конвекционных токов, которые в Баренцовом море, повидимому, захватывают всю толщу воды Нордкапского течения. Там, где нет ледообразования, как в южной части рассматриваемого района, этот минимум наступает одновременно для всей толщи воды, а там, где имеет место ледообразование, в верхних слоях, захваченных до начала ледообразования вертикальной циркуляцией, одновременно, а в более глубоких слоях-несколько позже, чем в поверхностных и чем глубже, тем позднее.

Воды Атлантического течения по мере своего продвижения на север в более холодные климатические условия все меньше и меньше прогреваются летом и все более и более охлаждаются зимой и это создает в этом течении градиенты температуры по пространству. Если бы мы предположили постоянство климатических условий при постоянстве начальной температуры и скорости течения, то, в конце концов, климатические условия создали бы постоянные в каждой отдельной точке градиенты температуры по пространству. Предположив далее смену в климатических условиях, другими словами, смену зимы и лета, мы получили бы соответствующие изменения в градиентах температуры по пространству.

Летом эти градиенты были бы меньше, а зимой больше. Из существующей зависимости между градиентами температуры по времени и по пространству и скоростью течения вытекает, что в таком случае, при постоянстве течения мы имели бы соответственно меньшие градиенты температуры по времени летом и большие градиенты зимой. Каждое изменение климатических условий, скорости течений и начальной температуры нарушало бы это соотношение, и отсюда вытекает важность именно повторных разрезов по крайней мере по 2 меридианам в целях изучения годовых и сезонных колебаний Нордкапского течения.

9. Колебания температур на суточных станциях.

Наши наблюдения на суточных станциях 1928 г. показали, что температура слоев воды Баренцова моря, вплоть до придонных, изменяется в течении суток не только благодаря продвижению Нордкапских вод (постоянная причина, действующая в одном направлении), но и благодаря, главным образом, приливо-отливным явлениям (причина, действующая в течении суток в разные стороны). Эти явления в Баренцовом море замечались и раньше.

Так например еще в 1902, 3, 4 и 6 году Мурманской научно-промысловой экспедицией [1] почти что ежемесячно делались на одном и том же месте Екатерининской гавани (у бочки) гидрологические станции.

Одна из таких станций, а именно, 14 сентября 1902 г. была сделана в течении суток 2 раза. Полученные при этом температуры приводятся в таблице 29.

Из того, что станции делались на одном и том же месте и измеренная глубина в 10h была 44 m, а в 17h—49 m, заключаем, что первая станция была сделана в момент отлива, вторая в момент прилива и это и создало наблюденные разности в температурах. Напомним, что Екатерининская гавань отделена 15-метровым барьером от Кольского залива и это обстоятельство, определяющее в Екатерининской гавани глубину слоя скачка, отразилось на величине наблюденных разностей температур.

[1] Колебания температур на глубинах в течении суток впервые были обнаружены Нансеном в 1894 г. Nansen F. The North Polar Basin.

Таблица 29.

Температуры на станции 14 сентября 1902 года в Екатерининской гавани.

Глубина в m	10h	17h	Разность	Град. темп. по врем. (град./час)
0	6°.49	6°.63	0°.14	0°.02
5	6 10	6.16	0.06	0.01
10	5.85	5.91	0.06	0.01
15	5.50	5.65	0.15	0.02
20	2.90	4.40	1.50	0.21
25	1.19	2.44	1.25	0.19
30	0.80	1.02	0.22	0.03
35	0.60	0.61	0.01	0.00
40	0.56	0.55	0.01	0.00
Средняя	3.33	3.71	0.38	0.05

Из приведенной таблицы ясно, что во время прилива в Екатерининскую гавань поступают через барьер более теплые в это время года поверхностные воды Кольского залива, уходящие во время отлива обратно.

На наших суточных станциях: 965 (21/22 июня, 76°-06′N и 30° 00′5E) и 1003 (5-6 июля, 73° 16′5N и 28° 24′5E) и на полусуточной станции 1022—23—24 (5-6 августа около 77° 30′ N и 30° 00′ E) мы делали температурные наблюдения приблизительно через каждые три часа, причем записывали время посылки на глубину и перевертывания каждого отдельного термометра.

Несмотря на то, что мы сделали все, что было в наших силах, наши наблюдения с точки зрения изучения характера и причин суточных колебаний температуры на глубине, страдают существенными недостатками. Действительно, суточную станцию 965 мы провели всего с 2 термометрами, станцию 1003 всего с одним термометром. На полусуточной станции 1022—22—24 у нас было только 2 батометра.

Это обстоятельство—скудность оборудования—лишило нас возможности, во первых, наблюдать температуры на всех горизонтах одновременно и, во вторых, делать наблюдения чаще, чем через три часа. Тем не менее и то что сделано, особенно, принимая во внимание, что одновременно с температурными наблюдениями мы определяли скорости и направления течений на нескольких горизонтах вертушками Экмана, дает материал для некоторых весьма интересных выводов.

В таблицах 30 и 31 приводятся некоторые результаты температурных наблюдений на наших суточных станциях 965 и 1003, а именно: средние суточные температуры горизонта, максимальные отклонения от этих средних, амплитуды суточных колебаний температуры, градиенты температуры по глубине для средних суточных (градус/m) и максимальные наблюдавшиеся градиенты температуры по времени (градус/час).

Таблица 30.

Ст. 965 (76° 06′2 N и 30° 00′5 E) глубина 306 m.

Суточные колебания температур.

Глубина в m	Число наблюдений	Средняя суточная	Максимальное отклонение от средней	Амплитуда	Градиент по глубине	Градиент по времени
0	9	1°.38	0°.78	1°.10	0°.127	0°.62
10	9	0.11	1.16	1.78	0.101	0.94
20	5	—0.90	0.14	0.23	0.020	0.04
30	5	—1.10	0.26	0.44	—0.034	0 07
40	5	—0.76	0.34	0.48	—0.037	0.01
50	9	—0.39	0.92	1.44	—0.088	0 43
75	5	1.80	0.37	0.56	—0.010	0.06
100	9	2.05	0.15	0.28	0.009	0.05
150	5	1.61	0.09	0.16	0.004	0.03
200	5	1.39	0.06	0.12	0.003	0.02
300	9	1.05	0.24	0.54	—	0.17

Таблица 31.

Ст. 1003 (73° 16′5 N и 38° 24′5 E) глубина 269 m.

Суточные колебания температур.

Глубина в m	Число наблюдений	Средняя суточная	Максимальное отклонение от средней	Амплитуда	Градиент по глубине	Градиент по времени
0	10	3°.76	0°.14	0°.25	0°,024	0°.07
10	9	3.52	0.26	0.39	0.123	0.12
25	9	1.68	1.48	2.57	0.047	1.03
50	9	0.51	0 65	1.05	0.033	0.41
100	9	—1.14	0.14	0.27	0.002	0.07
150	9	—1.22	0.21	0.37	0.003	0.06
225	6	—1.56	0.06	0.12		0.02

Общий ход колебаний температуры на суточных станциях 965 и 1003 наглядно виден из рис. 23 и 24. На этих чертежах по оси x-ов отложено время наблюдения, а по оси y-ков отклонения от средней суточной температуры на данной глубине, причем масштаб для отклонений температуры выбран один и тот же для всех глубин.

Рис. 25 для станции 1003 построен несколько иначе. На нем по оси x-сов отложено время, по оси y-ков—глубины и в соответствующих точках времени проставлены наблюдавшиеся на данном горизонте температуры. Затем по этим точкам вычерчены обыкновенным способом изотермы. Получился своего рода разрез „во времени".

При изучении приведенных таблиц и чертежей обращает на себя внимание следующее:

1. Амплитуды колебаний температуры в продолжении суток значительны, даже в придонных слоях.

2. Амплитуды колебаний и градиенты температуры по времени вообще больше в тех случаях, когда градиенты температуры по глубине больше.

Так, напр., на ст. 1003 наибольший градиент температуры по глубине отмечен в слое от 10 до 25m (слой скачка). Соответственно на 25m мы наблюдали наибольшую амплитуду и наибольший градиент температуры по времени.

На ст. 965 градиент температуры по глубине имеет 2 максимума: один в поверхностном от 0 до 20m слое, второй в слое от 50 до 75m. Таким образом на ст. 965 два слоя скачка, что так характерно для станций с холодным промежуточным слоем. Соответственно на 10 и 50m мы имеем наибольше амплитуды и наибольшие градиенты температуры по времени.

3. Замечательно далее, что, несмотря на большие амплитуды колебаний и большие градиенты температуры по времени, мы не наблюдали изменений в характере распределения температуры с глубиной.

На ст. 1003 температура понижается с глубиной, и такое распределение температур сохраняется во всех сделанных 10 сериях.

На ст. 965 температура с глубиной сначала понижается, потом повышается и потом снова понижается, и ту же самую картину мы наблюдали во всех 9 сериях

Выходит, что при суточных колебаниях температуры изменяется величина градиента температуры по глубине, но не его знак. Нельзя не пожалеть здесь еще раз, что мы не могли делать одновременных серий, потому что без таких наблюдений слишком опасно делать выводы об интереснейших из суточных колебаний, а именно, о суточных колебаниях температурного градиента по глубине.

4. Несмотря на некоторые неправильности, которые, возможно, надо приписать ошибкам или неполноте наблюдений, на обеих станциях и на всех горизонтах можно подметить периодичность полусуточного характера.

Интересно теперь разобраться, в чем же причина наблюдавшихся нами колебаний температуры.

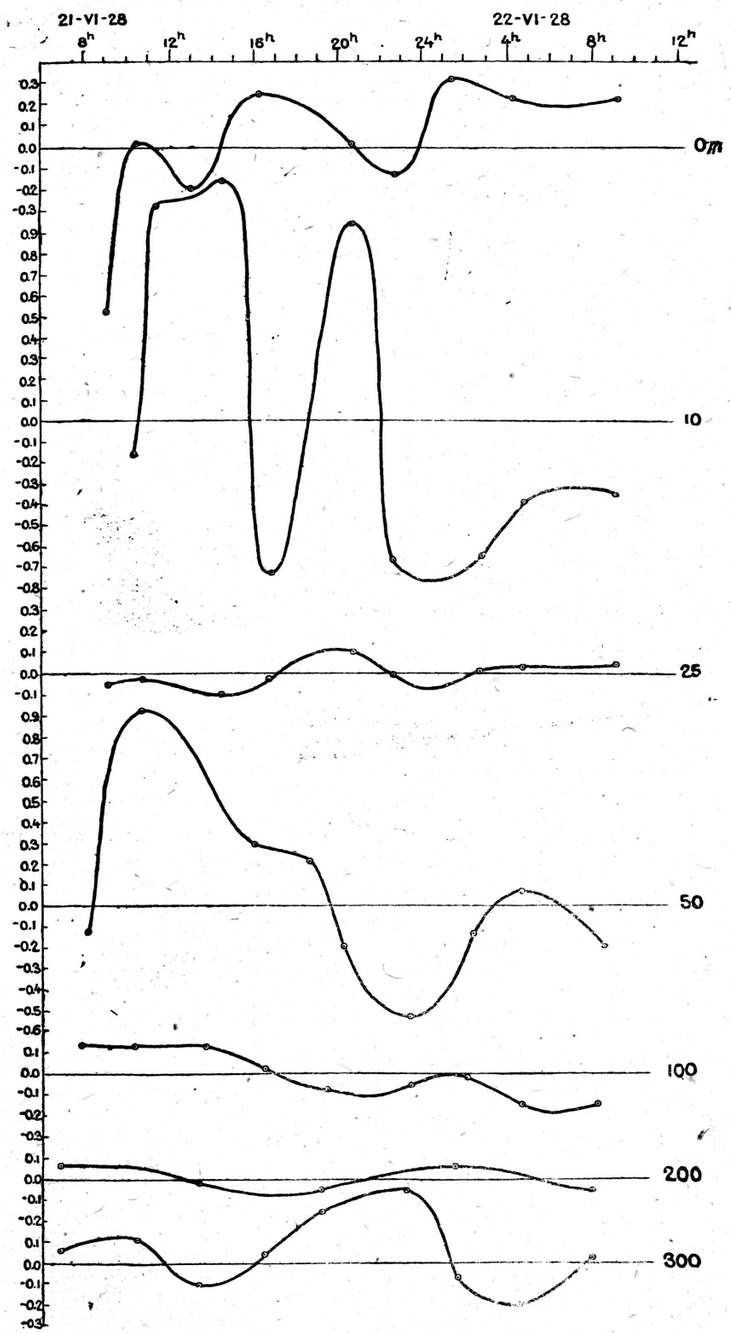

Рис. 23. Отклонение температур от средних за сутки (ст. 965).

Конечно, ни в коем случае мы не можем приписать эти колебания обычным причинам суточных колебаний температуры, а именно смене дня и ночи и смене атмосферных условий. Для этого наблюдавшиеся нами колебания

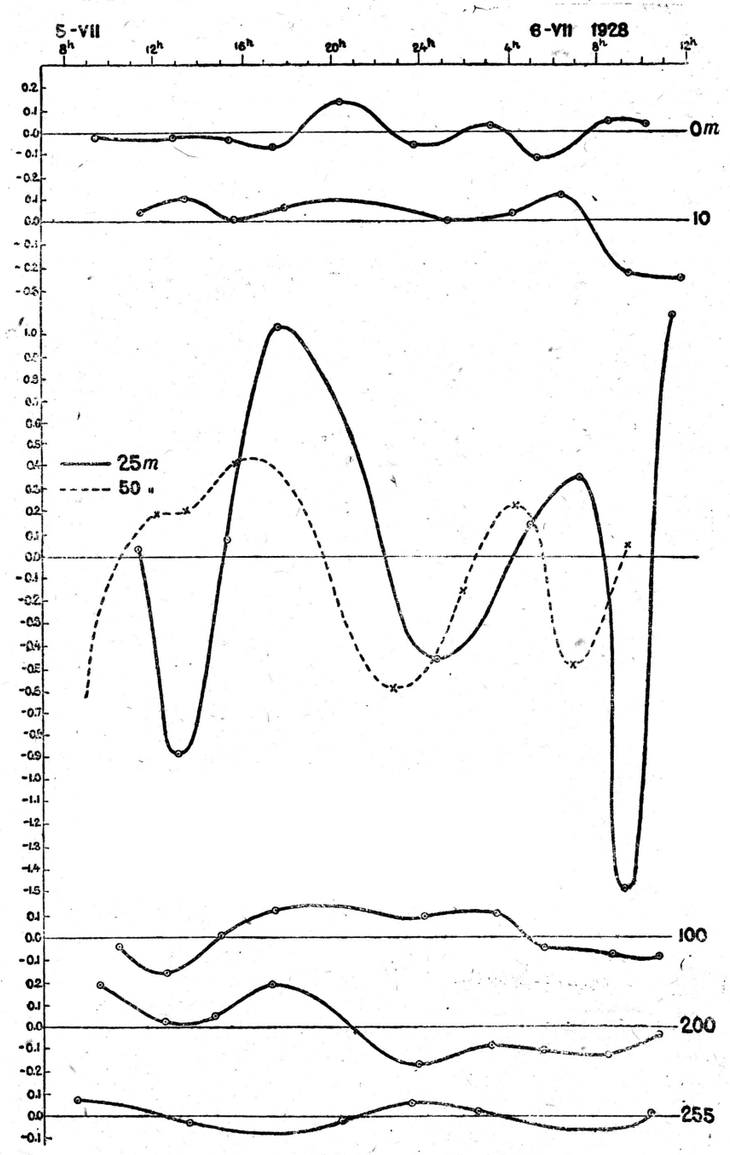

Рис. 24. Отклонения температур от средних за сутки (ст. 1003).

слишком значительны, распространяются слишком глубоко, на некоторых глубинах больше, чем на поверхности и, наконец, в этих колебаниях имеется известная закономерность, общая для обеих станцмй, хотя станции значительно удалены друг от друга и по времени и по пространству.

Единственное правильное об'яснение этих колебаний лежит в чрезвычайной подвижности вод Баренцова моря. Фактически ни на одном горизонте мы ни разу дважды не наблюдали одну и ту же воду. Во первых, несомненно и

доказано непосредственными наблюдениями над течениями, действие на обеих станциях постоянного течения, подносящего на данный горизонт все новую и новую воду.

Во вторых, также несомненно и доказано действие на всех горизонтах довольно сильных приливо-отливных течений, действующих в разных направ-

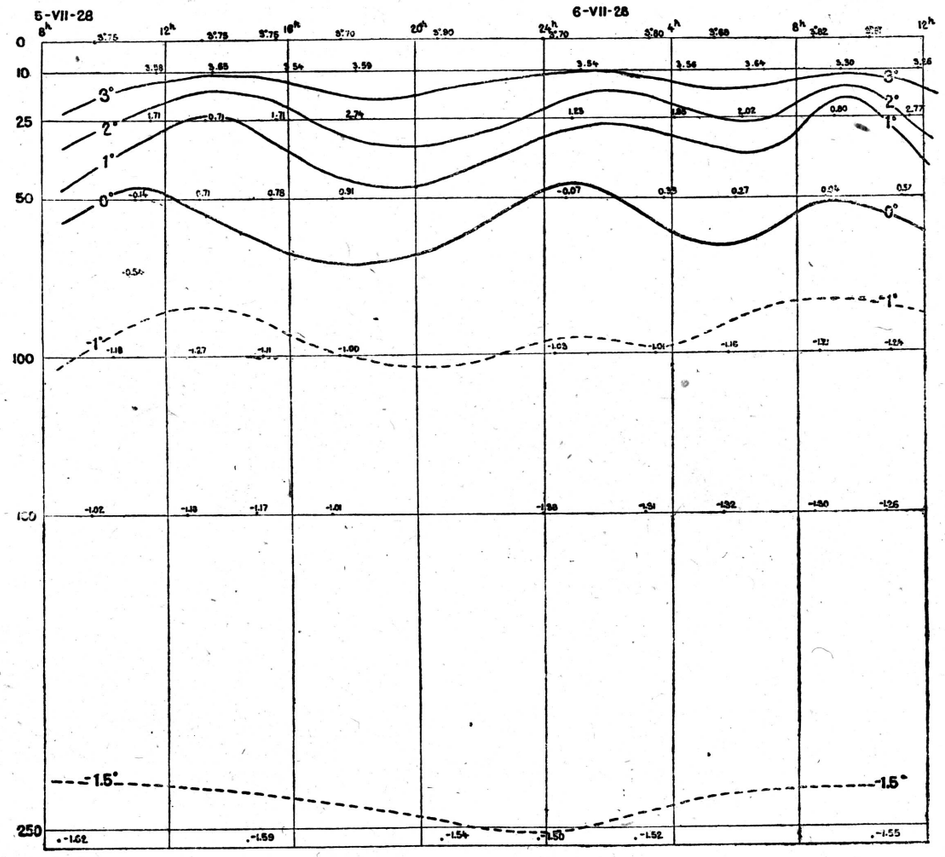

Рис. 25. Изотермы на сут. станции 1003.

лениях и, следовательно, подносящих к месту наблюдений воду с разных направлений.

Наши наблюдения над течениями позволяют подсчитать ту площадь района, вода которого могла быть захвачена совокупным действием постоянного и приливо-отливного течения и поднесена к месту наблюдения.

Эта площадь, благодаря тому, что скорость постоянного течения невелика, а приливо-отливные течения действуют то в одном, то в обратном направлении, оказывается очень небольшой—для обеих станций всего около 6 квадр. миль.

Если бы мы считали, что наблюдавшиеся нами колебания температуры могут быть об'яснены исключительно за счет горизонтальных колебаний воды под действием постоянного и приливо-отливного течения, то мы должны были бы допустить наличие в районе ст. 965 и 1003 очень больших градиентов температуры по пространству, о порядке которых можно судить по следующему примеру:

На станции 1003 мы наблюдали на 25m следующие температуры, направления и скорости течения:

Таблица 32.

Ст. 1003. Горизонт 25 m.

Время	Температура	Пром. времени	Разн. темп.	Град. темп. по врем. (град. час)
15h 32m 17h 50m	1°77 2°74	2h 18m	0°.97	0°.42

На той же глубине были непосредственно измерены течения, как раз между наблюдениями температур, а именно:

Время	Направление	Скорость	
		cm/sec	km/h
16h 00m 17h 00m	30° 70°	11.5 14.0	
Среднее	50°	12 7	0.46

Из этих таблиц следует, что к 17h 50m к месту наблюдения могла быть поднесена вода, которая в 15h 32m находилась приблизительно на зюд-весте в расстоянии только одного километра. Следовательно, в этом направлении градиент температуры по пространству как будто бы был равен приблизительно 1,0 град./километр.

Уже было отмечено исключительное расположение нашей станции 1003. И ст. 1002, несколько южнее, и ст. 1004, несколько севернее, по температурам значительно от нее разнятся. Но ст. 965, например, находится в районе холодного промежуточного холодного слоя, где температурные условия по пространству чрезвычайно однообразны.

Однако и для нее при сопоставлении данных отдельных серий и при предположении, что температурные колебания происходят исключительно за счет горизонтальных колебаний воды, мы должны были бы опять таки допустить наличие очень больших градиентов температуры по пространству. Однако, заметим, что при таком об'яснении мы должны были бы допустить не только очень большие горизонтальные градиенты температуры по пространству. Действительно, в районе обоих станций мы наблюдали постоянное течение. Следовательно, вода на каждом горизонте не только колеблется, благодаря приливо-отливным течениям то в одну, то в другую сторону, но и уносится все время в определенном направлении, а вертикальные колебания, которые мы хотели бы об'яснить только горизонтальными движениями воды, остаются. Значит, наше допущение больших горизонтальных градиентов температуры непременно вызывает другое, а именно, об известной последовательности в величине и знаке этих градиентов, соответствующих характеру наблюдавшихся нами колебаний температуры Такое предположение было бы совершенно не правдоподобно.

Поэтому мы должны допустить, что наблюдавшиеся нами колебания температуры обязаны своим происхождением совокупному действию, главным образом, трех следующих причин:

1) постоянному течению,

2) горизонтальным колебательным движениям воды, вызываемым приливо-отливными течениями и

3) вертикальным колебательным движениям воды, вызываемым также приливо-отливными явлениями [1].

[1] В работе Гелланд Гансена и Нансена—The Eastern North Atlantic, 1926,—авторы на основании всех предыдущих работ приходят к выводу, что в море существуют значительные и весьма интересные вертикальные колебания различных слоев воды, имеющие в большинстве случаев периоды, повидимому, связанные с приливами.

Влияние постоянного течения на изменение температуры в продолжении суток незначительно, и порядок его выявлен в пред'идущей главе. Для наших дальнейших рассуждений мы можем им пренебрегать и говорить лишь о значении горизонтальных и вертикальных колебаний воды.

Мы уже говорили, что наблюдавшиеся нами колебания температур не могут быть об'яснены только горизонтальными колебаниями воды, но все же в некоторых случаях их влияние может быть значительно. Сравнивая, например, амплитуды и градиенты температуры по времени на 0m станций 965 и 1003 мы видим, что эти величины на станции 965 значительно больше, чем на станции 1003.

Но станция 965 была сделана нами почти что у кромки льда. Во время работы на этой станции несколько раз от кромки льда отрывались узкие полоски льда и увлекались ветром по направлению к нам, но на пути таяли под действием теплой поверхностной воды. Эти растаявшие полосы льда, безусловно, должны были оставить после себя как бы пятна более холодной воды. Затем перед самым входом в кромку мелко битого и разрозненного льда мы наблюдали поверхностные температуры через каждые 2 минуты, при чем оказалось, что температура понизилась почти на 2 градуса на расстоянии 1—2 километров. Таким образом, несомненно, что в районе ст. 965 были причины, создавшие очень большие горизонтальные поверхностные градиенты температуры. В районе ст. 1003 таких причин не было и, в результате, получилась наблюдавшаяся разница в амплитудах и градиентах температуры по времени в поверхностных слоях этих двух станций.

На рис. 26 представлен несколько видоизмененный черт. 25.

По оси *x*-сов отложено время, по оси *y*-ков глубины и проведены „изотермы по времени“, как и на черт 25, но не даны температуры, определяющие эти изотермы. Зато, против соответствующих часов наблюдений на горизонтах 0, 25, 50 и 100 m приведены направления наблюдавшихся течений (счет от 0° до 360°).

Рассматривая этот чертеж, мы видим, что под'ему изотерм, т. е. похолоданию серии соответствуют вестовые направления течений и понижению изотерм т. е. повышению температуры серии соответствуют течения на ост. Исключение из этого правила представляют две последних серии температур и эти исключения несколько спутывают тот вывод, который напрашивается из сопоставления температур восьми первых серий с направлениями течения, а именно:

Станция 1003 лежит на восточной окраине „холма холодной воды“, Центральной впадины, подымающегося к западу от нее. Естественно поэтому, что течения на ост подносят к ней более теплые, а течения на вест более холодные воды и в этом значение горизонтальных градиентов температуры и горизонтальных колебаний воды.

Не зная совершенно величины горизонтальных градиентов температуры, конечно, невозможно выделить влияние горизонтальных колебаний для получения амплитуд вертикальных колебаний.

Все же для того, чтобы получить хотя бы некоторое представление об этих амплитудах, допустим произвольно, конечно, что значение горизонтальных колебаний незначительно по сравнению с значением вертикальных колебаний и, в первом приближении, пренебрежем им. Некоторым основанием для такого допущения может служить то обстоятельство, что наибольшие горизонтальные градиенты температуры мы естественно должны были бы ожидать в поверхностных слоях, а между тем наблюдавшиеся колебания температуры в этих слоях вовсе не так значительны.

Заметим далее, что колебание уровня моря, от которого мы ведем счет горизонтов, под действием приливо-отливных явлений незначительно, незначительны также, особенно при тихой погоде, ошибки в глубине горизонта, на который посылались термометры, и этими причинами мы также можем пренебречь.

При таких допущениях „изотермы во времени“ рис. 26 для ст. 1003 представят собою в масштабе глубин вертикальные колебания поверхностей воды, на которых температуры равны температуре соответствующей изотермы.

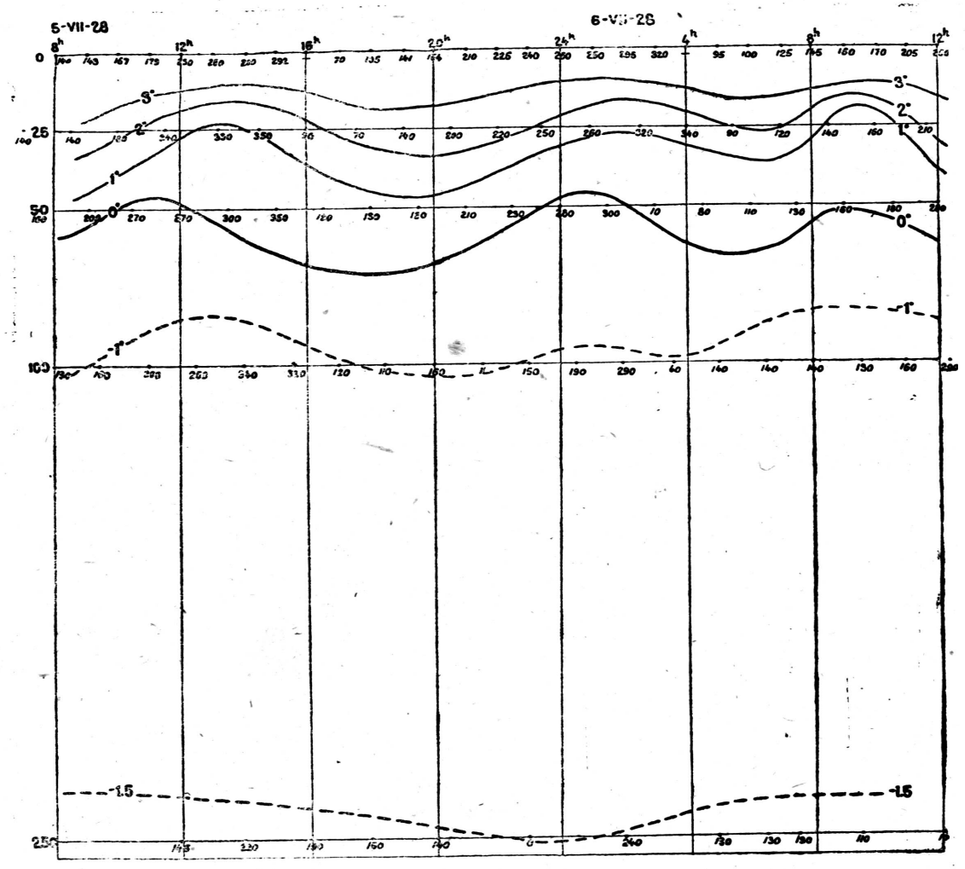

Рис. 26. Ход изотерм и направление течений на сут. станции 1003.

Правда, изотермы проведены по недостаточному числу данных и несколько произвольно, но все же, в среднем, они дают понятие, как это видно из ниже приводимой таблицы, о порядке амплитуд вертикальных колебаний на разных глубинах.

Таблица 33.

Ст. 1003. Амплитуды вертикальных колебаний изотерм.

Изотерма	Глубина изотермы (m)			Амплитуда (m)
	Средняя	Наименьшая	Наибольшая	
3°	14	12	18	6
2	22	16	35	21
1	39	20	47	27
0	66	46	71	35
—1	96	84	104	20

Из этой таблицы как будто следует, что амплитуды вертикальных колебаний с глубиной возрастают, во всяком случае изменяются, а отсюда, как это наглядно видно и из рис. 26, высота слоев воды между определенными изо-

термами, не постоянна и меняется в соответствии с вертикальными колебаниями этих слоев. Высота верхних слоев уменьшается при под'еме изотерм кверху и увеличивается при их опускании.

Развивая дальше эту мысль и замечая на рис. 26 одновременность под'ема и опускания верхних градусных изотерм, мы можем как будто допустить, что под'ем и опускание изотерм должны сопровождаться горизонтальными передвижениями слоев воды, заключенных между этими изотермами, по направлению от точек под'ема к точкам опускания изотерм и наоборот.

Понятно, что скорости этих движений должны быть пропорциональны скорости изменения высоты слоев или, проще, скорости изменения вертикального градиента температуры. Последняя легко поддается учету при достаточно частых сериальных наблюдениях. В этом одно из главных значений изучения изменений вертикальных градиентов температуры на суточных станциях.

Заметим далее, что если бы верхние слои подымались или опускались, даже сохраняя свою высоту, все же мы должны были бы допустить увеличение придонного слоя в моменты под'ема слоев и уменьшение в моменты опускания или, другими словами, горизонтальное продвижение придонных слоев в направлении обратном движению поверхностной воды, вызываемому колебанием промежуточных слоев.

Понятно также, что, если действительно при под'еме слоев подповерхностные слои становятся, как это видно из чертежа 23 тоньше, то направление их движения должно совпадать с направлением поверхностного течения и быть обратным придонному течению.

Таблица 34.

Направления течений на различных глубинах. Ст. 1003.

Время		Поверхн.	50 m	100 m	250 m
День	Часы				
5 VII	12.00	230°	270°	—	145°
„	14.00	280	—	340°	220
„	16.30	70	120	—	200
„	18.00	105	130	—	150
„	20.00	155	—	160	140
„	23.00	240	—	150	0
6 VII	2.00	295	—	290	240
„	4 00	80	80	—	130
„	5.00	95	140	—	180
„	6.30	120	140	—	130
„	7.30	135	130	—	130
„	9.30	155	—	130	110
„	12.30	260	—	290	10

На ст. 1003 наибольшая глубина, на которой мы вели наблюдения над течениями вертушками Экмана, была 250m, т. е. на 19m от дна, и мы получили результаты, как будто согласующиеся со сказанным выше.

Действительно, направления течений в поверхностном, 50 и 100m слоях почти что совпадают друг с другом, в то время как одновременные направления течения на 250m сильно отличаются.

Рассматривая таблицу 34, обратим внимание, что в 18 и 20 часов 5 июля и в 6 ч. 30 м. и 7 ч. 30 м. 6 июля направления течений на всех глубинах совпадали и замечательно, что эти точки времени, во первых, лежат на соответственных отрезках изотерм, причем промежуток времени между ними приблизительно равен лунным полусуткам и, во вторых, что направление течений в эти моменты совпадало с общим для всех горизонтов направлением постоянного течения.

Резюмируя сказанное нами выше, мы должны сказать следующее:

1. Наблюдавшиеся нами на суточных станциях колебания температур могут быть об'яснены, главным образом, приливо-отливными явлениями.

2. Приливо-отливные явления вызывают вертикальные колебания слоев воды, причем амплитуда этих колебаний увеличивается с глубиной.

3. Вертикальные колебания слоев сопровождаются изменениями высоты этих слоев, вызывающими горизонтальные течения, пропорциональные по скорости изменению вертикальных градиентов температуры и обратные по направлению в верхних и придонных слоях.

Вертикальные колебания глубинных слоев воды неоднократно наблюдались и изучались и в других морях и в открытом океане. Однако, насколько мне известно, до сих пор нет еще полного и строгого об'яснения этого интереснейшего и имеющего большое значение для режима глубинных слоев воды явления. Поэтому небезполезно привести несколько соображений, которые помогут отчасти осветить этот важный вопрос.

В главе „Вычисление элементов Нордкапского течения по удельным об'емам" выводится, что всякое течение, какими бы причинами оно ни было вызвано, благодаря действию отклоняющей силы вращения земли, сопровождается наклоном изобарических поверхностей, а разница в наклоне изобарических поверхностей на отдельных глубинах в свою очередь вызывает наклон изостерических поверхностей, при чем, если разрез сделан поперек течения, то формула для наклона изостер будет такова

$$\operatorname{tng} \gamma = \frac{2\,\omega \operatorname{Sin} \varphi}{g} \left[\frac{c_1\,\alpha_2 - c_2\,\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2} \right]$$

где γ—угол наклона изостеры, отделяющей друг от друга два слоя, α_1 и α_2—удельные об'емы этих слоев, c_1 и c_2—скорости этих слоев, ω—угловая скорость вращения земли, g—ускорение силы тяжести и φ—широта места.

Подставляя в эту формулу значения для скоростей c_1 и c_2 из формул той же главы

$$c_1 = \frac{\Delta h_1\, g}{2\,\omega\, L \operatorname{Sin} \varphi}$$

$$c_2 = \frac{\Delta h_2\, g}{2\,\omega\, L \operatorname{Sin} \varphi}$$

где Δh_1 и Δh_2—разницы высот данных изобар на двух станциях, расстояние между которыми равно L, получим

$$\operatorname{tng} \gamma = \frac{\alpha_2\, \Delta h_1 - \alpha_1\, \Delta h_2}{L\,(\alpha_1 - \alpha_2)}$$

$$\Delta H = \frac{\alpha_2\, \Delta h_1 - \alpha_1\, \Delta h_2}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

где ΔH—разница глубин данной изостеры между теми же станциями. Замечая далее, что удельные об'емы вообще близки к единице, получим упрощенную формулу

$$\Delta H = \frac{\Delta h_1 - \Delta h_2}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

и, наконец, заменяя удельные об'емы через условные удельные об'емы

$$v_t = (\alpha - 0.97)\ 10^5$$

получаем окончательно

$$\Delta H = \left\{ \frac{\Delta h_1 - \Delta h_2}{v_t' - v_t''} \right\} 10^5$$

В этой формуле величины Δh малы и, в частности, например, для Баренцова моря приблизительно равны 0.25 mm на одну морскую милю при скорости течения 1 cm/sec, но величина ΔH, благодаря тому что в ее знаменатель входит разность удельных об'емов, значительно больше. Сказанное лучше всего пояснить примером.

Пусть имеем в верхнем слое

$S = 34.90,\ t = 8^0$ C	$c_1 = 20$ cm/sec
откуда $v_t' = 350$	и $\Delta h_1 = 5.0$ mm
и во втором слое	
$S = 35.00,\ t = 4^0$ C	$c_2 = 10$ cm/sec
откуда $v_t'' = 295$	и $\Delta h_2 = 2.5$ mm

Подставляя эти данные в формулу для ΔH получаем

$\Delta H = 4.5$ m на 1 м. милю.

Отклоняющая сила вращения земли отклоняет всякое течение в северном полушарии вправо. Поэтому, если смотреть вниз по течению, то изобары наклонены влево, а изостеры вправо.

Предположим теперь, что на рис. 27 представлен разрез поперек течения, что в начальный момент течение движется в направлении на читателя и что разность скоростей течения на отдельных глубинах вызвала различный наклон изостер.

Понятно, что изостеры стремятся занять горизонтальное положение и что на данном разрезе только благодаря влиянию силы Кориолиса задерживается циркуляция в направлении показанном стрелкой. Как только прекратится течение, прекратится и действие силы Кориолиса и начнется указанная циркуляция.

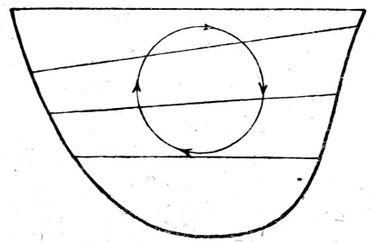

Рис. 27.

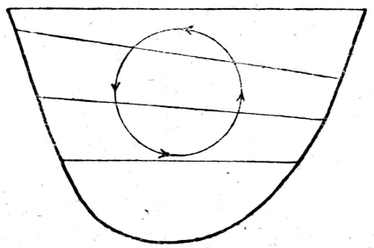

Рис. 28.

Если течение, как это и имеет место при приливо-отливных течениях, переменит свое направление, то изостеры начнут наклоняться вправо и это вызовет соответствующее перемещение водных масс (рис. 28).

Если мы предположим далее, что мы производим наблюдения в продолжении достаточно длинного промежутка времени в одной и той же точке моря, то ясно, что по изменению гидрологических элементов на одних и тех же глубинах в продолжении этого промежутка времени мы сможем судить об изменении высоты отдельных изостер.

Рассматривая рис. 27 и 28, мы можем подметить, как следствие сказанного только что, еще несколько явлений, а именно:

1. Скорость всякого течения вообще с глубиной, благодаря трению, убывает, значит, с глубиной уменьшается наклон изобар и пропорциональный последнему наклон изостер. Отсюда во всяком течении слои, разделенные изостерами, приобретают клинообразный вид: расстояние между изостерами меньше там, где изостеры глубже. Другими словами, при под'еме изостер толщина промежуточных слоев (за исключением самых верхних) увеличивается, а при опускании уменьшается.

2. Изменение высоты слоев, понятно, не может не сопровождаться дополнительными передвижениями водных масс внутри каждого отдельного слоя. Скорости этих дополнительных передвижений, складываясь с основной скоро-

стью приливо-отливного течения, в некоторых случаях могут создать на промежуточных глубинах результирующие скорости бо́льшие, чем в поверхностных слоях.

3. Обращает на себя внимание, что в сравнительно небольших бассейнах, в которых приливо-отливные явления сменяются одновременно по всей длине разреза, сделанного поперек бассейна (рис. 27 и 28) наибольшие вертикальные колебания слоев мы должны ожидать у берегов, а наименьшие в центре. Понятно также, что в каждом бассейна должна существовать точка-узел, в котором вертикальных колебаний почти нет или они крайне незначительны. Расположение такого узла, конечно, зависит от местных условий, главным образом от рельефа дна.

Как видим, выводы, получаемые из изложенной выше несложной теории вполне совпадают с выводами, полученными нами из непосредственных наблюдений. Правда, мы изучали вертикальные колебания только по изменению температур, а не по изменению удельных об'емов, но это не имеет существенного значения: Действительно, изменение температуры во времени на данной глубине служит таким же признаком подхода к данной глубине нового слоя, как и изменение удельного об'ема, а изучение изменений температуры и точнее и много проще, чем изучение изменений удельного об'ема.

Все же повторяем, наблюдений, сделанных нами в 1928 г., слишком мало, и сделаны они не так, как следовало бы, но все таки они имеют значение, так как они намечают пути для дальнейших исследований.

Значительные колебания температур в продолжении суток, понятно, очень запутывают вопрос о построении гидрологических разрезов в смысле проведения изолиний и заставляют еще более осторожно относиться к сравнению данных, отдельных станций, сделанных даже в один и тот же день, но в разное время дня.

На рис. 29 и 30 взяты по три соседних станции нашего разреза по 38 меридиану, причем для средней из этих станций, а именно 1003 (суточной), взяты данные серий, наиболее отличающиеся по температуре друг от друга. Эти чертежи дают понятие о том, насколько искажены могут быть изотермы в зависимости от того, когда именно была сделана та или другая станция. Отсюда для действительного и точного представления о распределении гидрологических элементов на данном разрезе необходимо было бы привести данные всех станций не только к одному дню, но и к одному моменту. Для последней задачи в первую очередь потребовалось бы точное знание приливо-отливных явлений, и градиентов температуры во времени, зависящих от этих явлений, для всех точек разреза, что, невозможно. Поэтому мы должны довольствоваться в общем случае приближенными решениями, но и эти приближенные решения могут дать верные представления только при условии достаточной частоты станций и горизонтов, что позволяет для выводов пользоваться средними величинами, вероятность которых, естественно, будет тем больше, чем больше данных, на основании которых эти средние выведены.

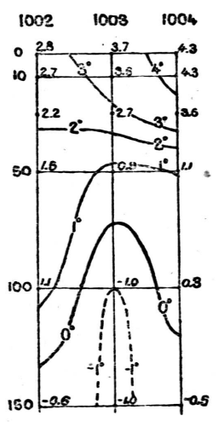

Рис. 29.

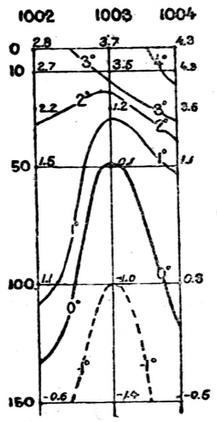

Рис 30.

Сказанного только что, конечно, с другой стороны, нельзя преувеличивать. Например, рассматривая рис. 29 и 30, мы видим, что по своему характеру ст. 1003 остается 1003 станцией, какую бы серию мы ни взяли для проведения изотерм. Далее станцию с холодным промежуточным слоем нельзя спутать со станцией с правильной стратификацией температуры, но все же нельзя придавать значение искривлению изотерм на какой нибудь отдельной станции

разреза, если это искривление может быть об'яснено вертикальными колебаниями слоев в 20—30m (для Баренцова моря) [1].

Вертикальные колебания слоев воды, не только спутывают представление о распределении гидрологических элементов по глубине, но и, например, понятие о распределении планктона с глубиной и его вертикальной миграции в течении суток. Действительно, если в данном море обнаруживаются значительные вертикальные колебания слоев, а тот или другой планктонный организм держится все время на той же глубине, то мы должны допустить его вертикальные миграции по высоте равные высоте колебания слоев.

Другое значение вертикальных колебаний в том, что они способствуют перемешиванию верхних слоев воды при достаточно продолжительном ветре и волнении.

Во время наших разрезов по 30 и 35 меридиану мы имели длительные свежие ветра и, в результате, весь поверхностный слой до глубины 30—40m перемешался и стал гомотермичным. Особенно это ярко выражено на разрезе по 30 меридиану 17 экспедиции.

Это явление и, главное, быстрота перемешивания до значительной глубины, становится гораздо понятнее, если принять во внимание значение в этом отношении вертикальных колебаний слоев. При волнении при срывании и опрокидывании гребней перемешиваются лишь самые верхние слои. Но вертикальными колебаниями к поверхности время от времени подносятся некоторые подповерхностные слои, наверху механически смешивающиеся ветром с другими слоями. В результате, когда этот слой пойдет вниз, он уже не будет тем, чем был, когда подымался кверху. Отсюда равновесие слоев нарушается, возникают токи и вихри и, таким образом, перемешивание с течением времени распространяется все глубже и глубже.

До сих пор мы говорили лишь о вертикальных колебаниях, вызванных приливо-отливными явлениями.

Эти колебания естественно определяются своим полусуточным или суточным периодом. Но в Баренцовом море, как и в других бассейнах, существуют вертикальные колебания с гораздо меньшими колебаниями.

При нашем ограниченном инструментарии, понятно, мы не имели возможности их изучать, но во всяком случае у нас набралось достаточно наблюдений, чтобы определить их наличие. Действительно, по разным причинам нам приходилось неоднократно повторять на одном и том же горизонте наблюдения над температурой и мы получали приблизительно тоже, что впервые было получено Нансеном в 1894 г. Периодически температура на одном и том же горизонте, то подымалась, то опускалась причем период этих изменений колебался от получаса до двух и более часов.

Мы знаем, что уровень бассейнов под влиянием всякого рода внешних причин: резкое изменение атмосферного давления, изменения в силе и направлении ветра и т. д. приходит в постепенно затухающее колебательное движение и, в результате, мы наблюдаем сейши. Эти колебания, благодаря слоистости вод и разнообразию рельефа, не передаются на глубину так, чтобы поверхности, разделяющие слои, оставались бы параллельными друг другу. Наоборот, они сосредотачиваются преимущественно в верхних слоях и этим вызывается изменение высоты этих слоев. Это обстоятельство для сохранения гидростатического равновесия в глубинных слоях вызывает в свою очередь обратное движение в подповерхностных слоях.

Таким образом, мы получаем явление, аналогичное известному опыту Сандстрема с двумя несмешивающимися жидкостями, а именно: подошва искусственно вызванной волны в верхней жидкости приходится над гребнем пограничной волны, причем высота пограничной волны значительно больше высоты верхней волны.

---

[1] В работе Геллганд-Гансена и Нансена—The Eastern North Atlantic—впервые обращено внимание на это обстоятельство; указывается, что волнообразный характер изостер на гидрологических разрезах в большинстве случаев может быть об'яснен вертикальными колебаниями слоев воды, и делается попытка сгладить изостеры путем вывода средних из данных трех рядом лежащих станций. На таких сглаженных разрезах многие изгибы изостер, понятно, исчезают, но общий характер района сохраняется.

Действительно, называя толщину верхнего слоя через H_1, нижнего через, H_2, удельный об'ем верхнего слоя через α_1 и нижнего через α_2 и высоты волн через h_1 и h_2, мы получим, при условии того же давления на дно бассейна формулу

$$p = \frac{H_1 g}{\alpha_1} + \frac{H_2 g}{\alpha_2} = \frac{H_1 + h_1 + h_2}{\alpha_1} g + \frac{H_2 - h_2}{\alpha_2} g$$

или $\frac{h_1 + h_2}{\alpha_1} = \frac{h_2}{\alpha_2}$

откуда $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_2}$

так как удельные об'емы всегда близка к единице, то окончательно

$$\frac{h_1}{h_2} = \alpha_1 - \alpha_2$$

т. е. чем меньше разность удельных об емов отдельных слоев, тем больше разница высот волн поверхностных и пограничных.

И так мы видим, что даже незначительные колебания уровня моря неизбежно вызывают значительные вертикальные колебания подповерхностных слоев хотя и в обратную сторону, но с тем же периодом.

Для сейшей на поверхности моря мы имеем следующую формулу Мериана

$$t = \frac{2\,L}{\sqrt{gp}},$$

где t—период одноузлового сейша, L—длина бассейна, p—его глубина и g—ускорение силы тяжести.

Период многоузлового сейша естественно определится из формулы:

$$t_n = \frac{2\,L}{n\sqrt{gp}},$$

где n—число узлов сейша.

Следовательно, определяя по наблюдениям период вертикальных колебаний (глубинных сейш), мы тем самым определяем период поверхностных сейш и число их узлов.

Для Баренцова моря, средняя глубина которого равна 200 *m*, а протяжение во всех направлениях приблизительно равно 1300 *km*, получаем

$$t_n = \frac{14 \text{ часов}}{n}$$

Изучение вертикальных колебаний представляет собою задачу первостепенной важности для современной гидрологии. И причины, и значение этих колебаний окончательно не выяснены и перед нами в этом отношении 2 пути. Первый это путь кабинетного математического анализа, который, повидимому, должен привести к выкладкам необычайной сложности. Второй путь это изучение этих явлений на месте в море, что даст возможность вывести приближенные формулы и упростит анализ. Несомненно второй путь много легче, и Баренцово море и в этом отношении представляет собою известного рода лабораторию. Обширность бассейна стушевывает влияние берегов, малые глубины позволяют постановку на якорь в любом месте и, следовательно, облегчают одновременные непосредственные наблюдения над течениями, которые при таких исследованиях совершенно необходимы. Далее, в Баренцовом море мы имеем дело с исключительно большими градиентами гидрологических элементов по глубине, и всегда можно выбрать место, где градиенты по пространству очень малы. А последние обстоятельства необычайно важны для изучения вертикальных колебаний. Наконец, в Баренцовом море на всех глубинах ярко выражены приливо-отливные течения полусуточного характера и это уже облегчило нам понимание этих колебаний. Другой лабораторией, где нужно вести исследования параллельно, является Черное море, на котором приливо-отливных явлений почти нет, и где можно выявить вертикальные колебания слоев, обязанные своим происхождением другим причинам.

10. Холодный промежуточный слой.

В Баренцовом море, как правило, температура воздуха ниже температуры воды и потому здесь идет постоянная отдача тепла водой воздуху, летом уравновешивающаяся и даже возмещающаяся с некоторым избытком поглощением водой солнечного тепла.

С наступлением зимы начинается интенсивное охлаждение поверхностных слоев и соответственное уменьшение их удельного об'ема.

Как только уменьшающийся таким образом удельный об'ем верхнего слоя станет меньше удельного об'ема слоя, лежащего под ним, начнутся конвекционные токи, которые перемешают два верхних слоя. При продолжающемся охлаждении удельный об'ем верхних слоев будет уменьшаться и уменьшаться и, в результате, вертикальная циркуляция будет захватывать все более и более глубокие слои.

Вызванное таким образом перемешивание слоев сопровождается следующими явлениями [1]:

1. Весь перемешивающийся слой становится одинаковым по температуре и солености.

2. При одном и том же количестве отданного водой за время охлаждения тепла, глубина перемешивающегося слоя будет обратно пропорциональна начальным градиентам удельного об'ема. Чем меньше эти градиенты, тем на большую глубину распространяется зимнее охлаждение.

3. При охлаждении и перемешивании слоев воды неизбежно некоторое понижение уровня, вызываемое сжатием при охлаждении и прямо пропорциональное разности температур: начальной—до охлаждения и конечной—после охлаждения.

4. Если зимнее охлаждение достаточно сильно, а глубина моря в данном месте и вертикальные градиенты не велики, зимнее перемешивание может захватить всю толщу воды от поверхности и до самого дна.

5. При сильном зимнем охлаждении верхние слои, перемешиваясь и постепенно охлаждаясь, могут охладиться до температуры замерзания. Глубина перемешивания при этом будет или дно или же будет определяться величиной градиентов. Чем меньше градиенты, тем больше эта глубина.

6. После того как верхние слои охладились до температуры замерзания, при дальнейшем охлаждении начнется ледообразование, которое вызовет осолонение всей толщи перемешавшихся слоев и затем вовлечение в вертикальную циркуляцию добавочного слоя воды, по высоте пропорционального толщине образовавшегося льда.

7. Вызванная зимним охлаждением вертикальная циркуляция прекращается только с прекращением охлаждения.

8. Если зимнее охлаждение не успело вовлечь в вертикальную циркуляцию весь слой воды от поверхности до дна, то после того, как начнется летнее прогревание поверхностных слоев, мы получим следующее распределение температур с глубиной:

От поверхности температуры понижается до некоторой глубины, где сохраняется наименьшая температура, достигнутая во время зимнего охлаждения; ниже в слоях, не затронутых зимней вертикальной циркуляцией, температура повышается и затем ко дну опять постепенно понижается.

9. Если зимнее охлаждение не было достаточно сильно, а летний прогрев силен, то с течением времени всякие следы зимнего режима могут уничтожиться. В противном случае останется то, что называется холодным промежуточным слоем.

10. Из сказанного ясно, что под холодным промежуточным слоем не следует непременно понимать слой с температурами близкими к температуре замерзания. Температура этого слоя может быть какой угодно при условии, что этот слой образовался под влиянием зимнего охлаждения и что температура

[1] Н. Зубов. К вопросу о происхождении холодного промежуточного слоя. Труды Морского Научного Института, т. IV, 1929.

слоев, лежащих ниже, выше температуры этого слоя. Отсюда название „остаточный холодный слой“ более определяло бы истинное положение вещей, чем название промежуточный холодный слой.

К сожалению зависимость между изменениями температуры и солености и изменением удельного об‘ема сложна и потому нельзя достаточно точно определить простыми формулами процессы, имеющие место при образовании холодного промежуточного слоя. Между тем такие вопросы, как до какой глубины дойдет вертикальная циркуляция на данной станции при данном количестве отданного водой воздуху тепла, необходимо ли при этом ледообразование и т. д. представляют, также, как и сравнение в этом отношении отдельных станций, чрезвычайный интерес.

Для решения указанных вопросов притом с какой угодно точностью можно рекомендовать график для определения условного удельного об‘ема по температуре и солености [1], по которому, зная две из трех величин: температура, соленость и удельный об‘ем—очень легко находится третья величина.

Имея на какой нибудь станции наблюдения над температурой и соленостью и разбивая столб воды данной станции на слои большей или меньшей высоты, мы можем вычислить для каждого отдельного слоя среднюю температуру и соленость [2].

Предположим, что на некоторой станции мы к началу зимнего охлаждения наблюдали следующее распределение температуры и солености:

Таблица 35.

p	t^0	S	vt
0	8.7	33.40	473
10	8.5	42	469
25	7.4	46	450
50	6.1	68	416
75	5.9	90	399
100	4.3	34.20	357
150	3.7	44	334
200	3.5	72	311
250	3.4	96	293
265			

Вычисляя арифметическим путем средние температуру и соленость для отдельных слоев, получим:

Таблица 36.

№ слоя	от—до	Δp	t^0	S	vt
1	0—10	10	8.6	33.41	470
2	10—25	15	7.9	43	459
3	25—50	25	6.7	57	431
4	50—75	25	6.0	78	408
5	75—100	25	5.1	34.05	377
6	100—150	50	4.0	32	346
7	150—200	50	3.6	58	321
8	200—250	50	3.5	84	301
9	250—265	15	3.4	96	293

[1] Н. Зубов. Вычисление элементов морских течений по данным гидрологических разрезов. Записки по Гидрографии, т. 58, 1929.

[2] Определение средней температуры и солености слоя получается точнее всего, если предварительно по данным наблюдений построить для данной станции температурную и соленостную кривую. В большинстве случаев достаточно вычислять средние арифметическим путем. Еще проще и иногда вполне достаточно предположить, что наблюденные на каком нибудь горизонте температура и соленость являются температурой и соленостью всего слоя до следующего горизонта, на котором производились наблюдения.

С началом зимнего охлаждения первый слой начнет охлаждаться и в соответствии с этим его удельный об‘ем будет уменьшаться. Как только удельный об‘ем 1 слоя станет несколько меньше удельного об‘ема второго слоя, сейчас же внутри первого и второго слоя начнется вертикальная циркуляция, которая перемешает первые два слоя. При этом, понятно, удельный об‘ем перемешавшихся слоев будет равен начальному удельному об‘ему 2 слоя т. е. 459, а соленость будет равна средней из солености 1 и 2 слоя т. е. 33.42. Температуру перемешавшихся слоев мы найдем по графику как соответствующую S = 33.42 и vt = 459, а именно t = 7^0,8.

Для возможности перемешивания первых двух слоев с 3 слоем они должны охладиться настолько, чтобы их удельный об‘ем стал бы равным удельному об‘ему 3 слоя. Так как соленость 3 перемешавшихся слоев будет S = 33,50, то по этой солености и vt = 431 мы найдем общую температуру первых трех слоев после охлаждения и перемешивания.

Поступая также дальше и сводя результаты в таблицу, подобную ниже проводимой, мы получим общие температуру, соленость и удельный об‘ем любого числа перемешавшихся слоев. Одновременно не трудно подсчитать количество тепла (Q) в больших калориях, отдаваемое 1 cm^2 поверхности при перемешивании до данной глубины.

Таблица 37.

№ слоя	t	S	vt	i	Qt	Qi	Q
1—2	7.8	33.42	459	—	0.9	—	0 9
1—3	6.3	50	431	—	5.7	—	5.7
1—4	5.0	62	408	—	14.5	—	14.5
1—5	2.3	71	377	—	41.9	—	41.9
1—6	—0.3	91	356	—	89.4	—	89.4
1—7	—1.8	34.17	321	0.53	138.5	4.2	142.7
1—8	—1.8	43	301	1.48	165.0	11.8	176.8
1—9	—1.8	53	293	2.02	172.8	16.2	189.0

Перемешивание первых шести слоев идет так, как описано выше, но при перемешивании с 7 слоем мы встречаемся со следующими особенностями.

После перемешивания этих 7 слоев, общая их соленость будет только 34.08, которая даже при условии, что весь столб воды охладится до температуры замерзания (t = — 0.054 S = — 1^0,8 C [1]) соответствует vt = 328, между тем как для возможности смешивания первых шести слоев с седьмым их удельный об‘ем должен быть равен 321. Последнему об‘ему при t = — 1.8^0 C соответствует соленость 34.17 и до этой солености для возможности перемешивания слои должны осолониться. Это может произойти только за счет ледообразования.

При условии, что соленость льда равна нулю, толщину льда можно найти по формуле

$$i = \frac{\Delta S \cdot p}{S}$$

где Δ S—величина осолонения
p—толщина слоя
S—соленость до ледообразования.

В нашем случае

$$i = \frac{0.09 \cdot 200}{34.0} = 0.53\ m$$

[1] Н. Зубов. К вопросу о происхождении холодного промежуточного слоя. Труды Морского научного института, т. IV, 1929.

Далее при смешении первых 7 слоев с новой общей S = 34.17 с 8 слоем с S = 34.84 получаем общую S = 34.30, которая опять таки при t = — 1°,8 C дает v_t = 312, а не 301, как это необходимо для возможности перемешивания. Уд. об'ему 301 при t = — 1°,8 C соответствует S = 34 43. Отсюда получаем необходимую для перемешивания дополнительную толщину льда, а именно

$$i = \frac{0.13 \cdot 250}{34.3} = 0.95\ m$$

Поступая также дальше, мы найдем, что для того, чтобы вертикальная циркуляция дошла до дна, необходимо образование льда, толщиной 2,02 m.

В трех последних столбцах приведенной таблицы даны: Q_t количество тепла, отдаваемого 1 cm² поверхности моря при перемешивании данного числа слоев (в б. калориях), Q_i — скрытая теплота плавления льда и наконец $Q = Q_t + Q_i$.

Произвольно столб воды обработанной нами станции мы разделили на 9 слоев. Понятно, что чем на большее число слоев мы разделим этот столб, тем с большей точностью мы сможем ответить на вопросы: до какой именно глубины дойдет вертикальная циркуляция при данном количестве отданного воздуху тепла, до какой температуры вода при этом охладится и т. д.

Предположим теперь, что к концу зимнего охлаждения водой данной станции будет отдано воздуху всего только 41.9 б. калорий. Как это ясно из таблицы, вертикальная циркуляция дойдет тогда только до 6 слоя и мы будем иметь следующее распределение гидрологических элементов.

Таблица 38.

№ слоя	t°	S	v_t
1	2.3	33.71	377
2	2.3	71	377
3	2.3	71	377
4	2.3	71	377
5	2.3	71	377
6	4.0	34.32	346
7	3.6	58	321
8	3.5	84	301
9	3.4	96	293

С наступлением лета верхние слои начнут с одной стороны нагреваться, с другой стороны опресняться осадками и притоком береговых вод и, понятно, что постепенно будет вновь создаваться стратификация верхних слоев. Ясно также, что до тех пор пока температура верхних 6 слоев не станет больше 4° C, мы на данной станции будем наблюдать холодный промежуточный слой [1].

Все сказанное выше относится к воде, находящейся в покое. В действительности приходится считаться с водой, находящейся в движении, и это значительно усложняет и запутывает явления.

В частности, переходя к интересующим нас водам Нордкапского течения, предположим, что на рис. 31 представлен разрез вдоль этого течения, скажем, от берегов Англии и до северной оконечности Новой Земли.

[1] Уничтожение холодного промежуточного слоя идет еще и под влиянием течений, вызываемых ветром. Так в Баренцовом море южные ветра гонят теплые воды на север. Эти воды прежде всего отгоняют и разрушают кромку льда и затем находят на более глубокие слои холодного промежуточного слоя. Если при этом соленость холодного промежуточного слоя невелика, то плотность нагоняемых ветром теплых, но соленых вод может оказаться больше плотности промежуточного слоя. От этого получатся конвекционные токи, перемешивающие воду и уничтожающие до известной глубины следы холодного промежуточного слоя.

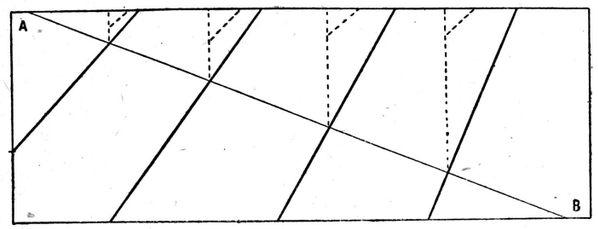

Рис. 31.

На этом разрезе изотермы к началу зимнего охлаждения будут наклонены с севера на юг. Зимнее охлаждение начнется раньше всего в северной части разреза и оно постепенно будет заворачивать изотермы кверху. Так как скорость продвижения зимы на юг больше, чем скорость течения на север, то ясно, что к концу зимы изотермы займут положения, показанные пунктиром, а линия AB определит глубины, до которых распространилось зимнее охлаждение в разных точках вдоль течения.

С прекращением зимнего охлаждения и началом летнего прогрева следы зимнего режима начнут уничтожаться несколькими путями. Во первых, охладившиеся поверхностные слои будут уноситься течением на север, во вторых, начнется прогревание поверхностных слоев сверху и, наконец, в третьих, благодаря тому что поверхностные слои, как правило, движутся быстрее нижних, первые будут находить на последние и, таким образом, также как и прогревание сверху, образовывать холодный промежуточный слой.

Заметим, что последнему обстоятельству будет способствовать то, что, благодаря зимнему охлаждению, уровень северной части течения понизился, а летний прогрев постепенно будет повышать уровень южной части течения. Кроме того, благодаря разности удельных об'емов на тех же горизонтах вдоль течения, холодный промежуточный слой будет обладать стремлением продвигаться на юг, что будет несколько задерживать течение на север на соответствующих горизонтах.

Еще более описанные явления будут запутываться влиянием рельефа, который, как мы видели в главе „Влияние рельефа на температуры меридианальных разрезов", сказывается на скоростях и на направлениях течения на отдельных горизонтах.

Богатейший материал для суждения о влиянии зимнего охлаждения на режим вод Нордкапского течения в юго-западной части Баренцова моря дают разрезы по Кольскому меридиану, сделанные в разное время года.

Вернемся сейчас еще раз к таблице температур станций по Кольскому меридиану около 71° 30′ N в 1902—1903 г., приведенную в главе „Годовые и сезонные колебания температур" (табл. 27).

Рассматривая эту таблицу, мы приходим к чрезвычайно интересному и важному выводу, а именно, что вследствие зимнего охлаждения вся масса Нордкапских вод, вступающих в Баренцово море весной, от поверхности и до самого дна уже вовлекалась в течении предшествующей зимы в вертикальную циркуляцию и, следовательно, так или иначе, была в соприкосновении с воздухом, обогатилась кислородом и т. д.

Действительно, мы в приведенной таблице видим, что в ноябре 1902 г. вертикальная циркуляция захватила слои до 100 m. В феврале и апреле вода гомотермична до самого дна. В мае охлаждение уже не достаточно сильно, чтобы охладить поступающие „сверху по течению" воды. Летом градиенты температуры становятся все больше. В ноябре слои гомотермичны опять до 100 m и т. д.

Обратим внимание на данные ст. 759 и 761. На обеих станциях максимум температуры обнаруживается на 150 m. То, что явление одинаково на обеих станциях исключает об'яснение его случайными ошибками. Нельзя об'яснить его также вертикальными колебаниями слоев.

Единственное правильное об'яснение заключается в том, что вертикальная циркуляция ко времени этих станций еще не захватила этого слоя. Если бы в этот момент зимнее охлаждение остановилось и начался летний прогрев, повысивший температуру верхних слоев, скажем, до 50 m, то в слое от 50 до 150 m мы получили бы характерный остаточный холодный слой толщиной в 100 m.

Во время нашего июньского разреза по 35 меридиану мы, поскольку позволял наш скудный инструментарий, искали следы остаточного холодного слоя в основной массе Нордкапских вод и мы, действительно, получили повышение температур на глубинах (см. ст. 946—949 и 960), которые, пожалуй, только так и могут быть об'яснены. Замечательны также в этом отношении максимум температуры на горизонте 100 m ст. 970 и температуры на горизонте 75 m ст. 981 и 983 разреза по 35 меридиану. Но, повторяю, наших наблюдений, сделанных одним, двумя батометрами, совершенно недостаточно, чтобы говорить об этом важном вопросе с полной определенностью.

Все же следует обратить внимание на температурные данные станций 972 и 1050 на южном склоне Центральной возвышенности.

Таблица 39.

N станции	972	1050
Время	25 VI	14 VIII
Широта	75° 00′	75° 00′
Долгота	35° 00′	35° 04′,9
Глубина	212	196
0	3°.2	6°.2
10	2.1	6.2
20	1.7	5.8
30	1.8	5 8
40	0.7	2.6
50	—1.2	--0.1
75	—0.4	0.6
100	—0.4	—0.5
150	—	—0.6
200	—1.7 (205 m)	—1.3 (190 m)

Как видим из таблицы 39, на обоих станциях, сделанных почти на одном и том же месте, но через 50 дней одна после другой на горизонте 50 m наблюдался промежуточный минимум температуры, определивший на разрезе изгиб изотерм, характерный для холодного промежуточного слоя Станции расположены на южном склоне Центральной возвышенности в месте, где Нордкапские воды чрезвычайно замедлены, поэтому здесь следы зимнего режима сохранились дольше всего.

Переходя теперь к северным частям разрезов по 30 и 35 меридиану мы видим, что в 16 экспедиции следы (рис. 4 и 5) холодного промежуточного слоя ясно обнаруживаются на ст. 967 (75° 20′N и 30° 00′E) и на ст. 968 (76° 35′N и 35° 00′E) и дальше на север этот слой становится все более и более мощным и минимальная температура этого слоя все более и более приближается к температуре замерзания.

В 17 экспедиции (рис. 6 и 7) следы холодного промежуточного слоя мы обнаружили на ст. 1016 (75° 23′ 8 N и 30° 15′E) и на ст. 1045 (76° 13′ 4 N и 35° 38′ E).

Таким образом за 50 дней южная граница холодного промежуточного слоя на 30 и 35 меридианах почти что не изменилась, но зато сам слой (вернее его южная часть, которую только мы и могли обследовать) претерпел изменения, выразившиеся в сжатии изотерм, между которыми этот слой заключен. Это уничтожение холодного промежуточного слоя, как это видно из рис. 4, 5, 6 и 7, шло и сверху и снизу. Создается впечатление, что этот слой с течением времени как бы смывается теплой водой сверху и снизу и становится все тоньше и тоньше, при чем температура его средней части остается почти неизменной.

Наш разрез вдоль кромки льда (рис. 32) (от 30 меридиана на северо-восток по возвышенности „Персея“ до 43 меридиана и обратно до 35 меридиана) весь расположен в районе холодного промежуточного слоя с температурами на горизонтах от 25 до 100m близкими к температуре замерзания. На некоторых станциях, где глубина невелика, напр. ст. 1028 (гл. 128 m), 1029 (гл. 106 m), 1030 (гл. 100 m) очень низкие температуры доходили до самого дна.

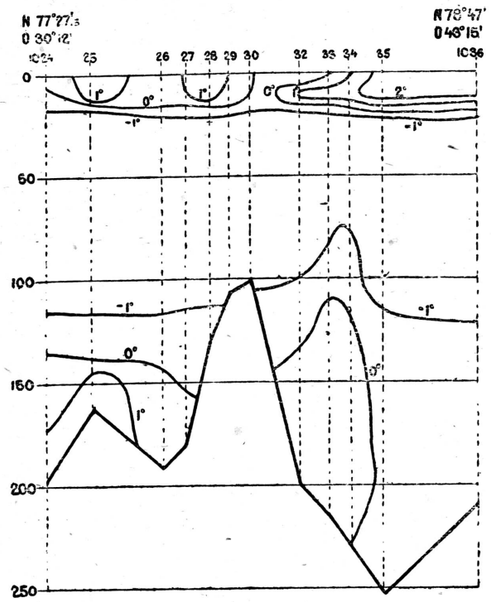

Рис. 32. Изотермы разреза вдоль кромки льда.

Происхождение холодного промежуточного слоя в северо-западной части Баренцова моря и небольшая сравнительно глубина залегания температур, близких к температуре замерзания, после всего сказанного в начале этой главы требует лишь немногих пояснений.

Теплые и почти гомохалинные воды Нордкапского течения на своем пути на восток и на северо-восток каждую весну встречают более или менее мощные льды. При таянии этих льдов под действием солнца, а главным образом за счет тепла Нордкапских вод, верхние слои распресняются. Это опреснение, благодаря перемешивающему действию ветров, распространяется на некоторую глубину и таким образом создаются большие градиенты солености.

В дальнейшем в северной части Баренцова моря часть Нордкапских вод заворачивает сначала на северо-запад, а потом на запад на возвышенность Персея, на которой, как правило, (за исключением особо благоприятных лет, как например 1923 г.) благодаря течению, скопляются льды, не успевшие растаять за лето. Здесь продолжается таяние льдов и этим еще более увеличиваются вертикальные градиенты солености и, таким образом, к началу следующего зимнего охлаждения в этом районе создаются чрезвычайно благоприятные условия, во первых, для ледообразования и, во вторых, для образования холодного промежуточного слоя на небольших сравнительно глубинах.

11. Вентиляция придонных вод

Из опасения потерять батометры мы посылали их на расстояния не меньшие 5m от дна и потому данные, полученные нами, не могут служить характеристикой придонных слоев.

Важность изучения именно придонного слоя, в котором лежит ключ к пониманию многих биологических и гео-химических процессов, не подлежит сомнению и, в частности, в Морском научном институте этот вопрос неоднократно подымался Л. А. Зенкевичем, связывающим его с продуктивностью дна и другими проблемами [1].

Помимо изучения статики придонных слоев, понятно, необходимо также изучение динамики этого слоя и наши работы 1928 года дают материал для некоторых предварительных соображений.

---

[1] См. Zenkewisch, Brotzky and M. Idelson Materials for the study of the productivity of the sea-botton in the White, Barents and Kara-Seas. „Journal du Conseil“, vol. III, № 3, 1928.

Для развития жизни на дне, помимо других условий, необходима более или менее постоянная смена придонных вод. Если этой смены нет или она недостаточна, то с течением времени придонная жизнь замирает. Наоборот, на участках моря, где смена придонных вод под влиянием тех и иных причин происходит постоянно, придонная жизнь развивается бурно, и мы получаем высокую продуктивность дна.

Это имеет громадное практическое значение. Места с высокой продуктивностью дна являются „пастбищами", куда рыба приходит откармливаться, и, таким образом, успех рыболовства на данном участке моря зависит в высокой степени от продуктивности дна данного участка. Отсюда понятна важность изучения „вентиляции" придонных вод, ее интенсивности и продолжительности в связи с причинами, ее вызывающими.

Главными причинами вызывающими вентиляцию придонных вод, являются: ветер, течения и зимняя вертикальная циркуляция.

Классическим примером значения ветра и волнения для вентиляции придонных вод является Азовское море. Здесь, после каждой бурной погоды (небольшие глубины моря это позволяют), вся вода сверху и до дна перемешивается и, следовательно, придонные воды освежаются. После некотораго периода штилевых погод вновь устанавливаются вертикальные градиенты температуры и солености, наблюдается уменьшение кислорода в придонных слоях и даже появляется серо-водород. Можно сказать, что если бы на Азовском море не было бы свежих ветров, то придонная жизнь в нем прекратилась бы [1].

Классическим примером действия течений на вентиляцию придонных вод является горло Белаго моря. Причудливый рельеф дна и сильные приливо-отливные течения создают в некоторых местах полное перемешивание до дна [2].

Совокупное действие ветра и течений, усиливаемое действием вертикальных колебаний глубинных слоев воды, несомненно имеет некоторое значение и для вентиляции придонных вод более глубоких частей моря. Но все же здесь главную роль играет вертикальная циркуляция, вызываемая зимним охлаждением [3].

В главе „Холодный промежуточный слой" мы видели, что с помощью графика для определения условного удельного об'ема и несложных вычислений легко можно проследить процессы, имеющие место при вертикальной зимней циркуляции. Если же говорить только о вентиляции придонных вод, то для нас будет представлять интерес только циркуляция, доходящая до дна, и это значительно упрощает сравнение данных отдельных станций в этом отношение.

Лучше всего метод вычислений и сравнения выявляется на примерах, взятых из практики.

Возьмем данные нашей станции 1050, расположенной на южном склоне Центральной возвышенности, и примем несколько произвольно (чтобы не вычислять средних), что температура и соленость, наблюденные на каком либо горизонте, являются температурой и соленостью всего слоя до следующего горизонта. Таким образом, воду данной станции мы разделим на 10 гомогенных слоев. Предположим далее, что в данном районе нет никаких течений, и что наблюденные нами температуры и солености на отдельных горизонтах к началу зимнего охлаждения не изменятся.

---

[1] Книпович Н. М. Труды Азовской экспедиции 1922—24 г.г. Предварительный отчет. 1926, стр. 18. Чугунов Н. М. Предварительные исследования продуктивности дна Азовского моря. Труды Азовской экспедиции, т. I, 1926, стр. 170.

[2] Шокальский Ю. М. Океанография, 1917, стр. 168.

[3] На вентиляцию придонных вод прибрежной полосы большое влияние имеют сгоны и нагоны. При первых придонные слои выходят на поверхность, при вторых поверхностные слои спускаются до известной глубины. Таким образом получается своего рода колебания изостер тем большие, чем меньше градиенты удельного об'ема.

Таблица 40.

Ст. 1050, 14 августа 1928 г, 75° 00′ N, 35′ 04° E							
n	от—до	Δp	t	t Δp	S	S Δp	Vt
1	0—10	10	6°.2	62	35.01	350.1	319
2	10—20	10	6.2	62	01	350 1	319
3	20—30	10	5.8	58	34.96	349.6	318
4	30—40	10	5.8	58	96	349.6	318
5	40—50	10	2.6	26	76	347.6	300
6	50—75	25	—0.1	— 2	74	868.5	285
7	75—100	25	0.6	15	80	870.0	284
8	100—150	50	—0.5	—25	87	1743.5	273
9	150—190	40	—0.6	—24	90	1396.0	270
10	190—196	6	—1.2	—7.2	85	209.1	270

$\Sigma\, t\ \Delta p = 222{,}3$ $\qquad$ $\Sigma\, S\ \Delta p = 6834{,}1$

$t_{ср} = 1^0{,}13$ $\qquad$ $S_{ср} = 34{,}87$

Понятно, что для того, чтобы вертикальная циркуляция смогла дойти до дна, удельный об'ем всего столба воды должен, благодаря охлаждению, стать равным удельному об'ему придонного слоя, т. е. 270. С другой стороны, понятно, что после перемешивания, соленость всего столба воды должна стать одинаковой и равной средней солености всего столба т. е. 34,87.

Входя в график для определения условного удельного об'ема по температуре и солености с данными Vt=270 и S=34,87, найдем соответствующую температуру, а именно t=—1°,0. Очевидно, что до этой температуры, при перемешивании до дна, весь столб воды должен охладиться.

Но средняя температура столба воды к началу зимнего охлаждения, как мы вычислили, была равна 1°,1. Следовательно, для охлаждения до t=—1°,0 водой было отдано (одним квадратным сантиметром поверхности) следующее количество тепла.

$Q=(1^0 1-(-1^0))\ 196\times 100=41{,}2$ б. кал.

В найденную нами таким образом величину Q входят все существенные данные, определяющие данную станцию, а именно: глубина, температура и ее распределение по глубине и соленость и ее распределение по глубине. Следовательно, эта величина может служить характеристикой продолжительности зимней придонной вентиляции на данной станции.

Действительно, раз начавшаяся и дошедшая до дна вертикальная циркуляция продолжается до тех пор, пока продолжается зимнее охлаждение. Отсюда, если мы предположим, что на данном участке моря зимнее охлаждение начинается одновременно, идет одинаково интенсивно и прекращается также в одно и тоже время, то величины Q, вычисленные указанным выше путем для двух или нескольких станций, дадут нам понятие о сравнительной продолжительности придонной вентиляции на этих станциях, а отсюда о продуктивности дна и т. д. Понятно также, что при слишком больших Q и малой интенсивности зимнего охлаждения вертикальная циркуляция может за данную зиму и не дойти до дна и это, конечно, должно будет сказаться на придонной жизни.

В разобранном только что примере для того, чтобы вертикальная циркуляция дошла до дна, вода должна была охладиться только до t=—1°,0. Возьмем теперь нашу же ст. 1042, сделанную только на два дня раньше и имеющую почти туже глубину, но расположенную на возвышенности Персея на 150 миль севернее ст. 1050.

Таблица 41.

Ст. 1042, 12 августа 1928 г., 77° 31′ N, 35° 06′ E							
n.	от—до	Δp	t	t Δp	S	S Δp	Vt
1	0—10	10	2°.2	22	33.08	330.8	424
2	10—20	10	1.8	18	10	331.0	420
3	20—30	10	—1.2	—12	06	330.6	408
4	30—40	10	—1.5	—15	34.11	341.1	326
5	40—50	10	—1.6	—16	20	342.0	318
6	50—75	25	—1.7	—42.6	29	857.3	312
7	75—100	25	—1 6	—40.0	33	858.3	308
8	100—150	50	—1.0	—50.0	43	1721.5	303
9	150—188	38	—0.1	— 3.8	61	1315 2	294
10	188—193	5	0.3	1.5	78	173.9	283

$\Sigma\, t\, \Delta\, p = -137{,}8$ $\qquad$ $\Sigma\, S\, \Delta\, p = 6601{,}6$

$t_{cp} = -0^0{,}7$ $\qquad$ $S_{cp} = 34{,}20$

Обращаясь к графику, мы видим, что солености 34,20, даже при температуре замерзания, соответствует Vt = 319, а для того чтобы все слои перемешались до дна, необходимо чтобы их удельный об'ем был равен удельному об'ему придонного слоя т. е. 283. По графику находим соленость, соответствующую t = — 1°,8 (температура замерзания) и Vt = 283, а именно S = 34,67. До этой солености и должен осолониться столб воды данной станции для того, чтобы вертикальная циркуляция смогла бы дойти до дна. Это осолонение может получиться только в результате ледообразования. Вычисляя толщину льда в предположении, что его соленость равна нулю, глубина станции равна 193m, соленость до ледообразования равна 34,20 и осолонение равно 0,47 по формуле

$$i = \frac{\Delta\, S\, p}{S}$$

получим

$$i = 2{,}65 \text{ m}$$

Не трудно подсчитать теперь также общее количество тепла, которое должно быть отдано данной станцией (одним квадратным сантиметром ее поверхности) для того, чтобы вертикальная циркуляция дошла бы до дна. Это общее количество тепла складывается из двух величин: тепла, отдаваемаго самой водой при охлаждении ее до температуры замерзания (Q_t) и скрытой теплоты плавления образовавшегося льда (Q_i).

Первую величину определим также, как и для ст. 1050.

$Q_t = [\, -0^0{,}7 - (-1^0{,}8)\,]\ 193 \times 100 = 21{,}2$ б. кал.,

а вторую

$Q_i = 265 \times 80 \times 100 = 21{,}2$ б. кал.

По случайному совпадению общее количество тепла, отдаваемаго станциями 1042 и 1050 при условии вертикальной циркуляции, доходящей до дна, приблизительно одинаково, но на первой станции при этом необходимо образование льда толщиной 265 cm, на второй же вода даже не охладится до температуры замерзания, а только до t = — 1°,0. Последнее обстоятельство определяет то, что при одной и той же температуре воздуха, вызывающего зимнюю вертикальную циркуляцию, вертикальная циркуляция дойдет до дна на ст. 1050 гораздо скорее, чем на ст. 1042.

Действительно отдача тепла водой воздуху через лед идет много медленнее, чем непосредственно с поверхности воды. Затем поверхность льда обычно вскоре после ледообразования покрывается более или менее толстым слоем снега, еще более замедляющим отдачу тепла. Таким образом образование льда задерживает вертикальную циркуляцию и как бы предохраняет нижние слои от охлаждения. На станциях, где происходит сильное ледообразование,

в силу сказанного выше, зимнее охлаждение может не успеть довести вертикальную циркуляцию до дна, несмотря на то, что общее количество тепла, которое необходимо отдать воздуху для этого в общем незначительно.

Мы уже говорили, что величины Q, являющиеся функциями от глубины и от распределения температуры и солености по глубине, определяют собою продолжительность зимней придонной вентиляции, зависящей от вертикальной зимней циркуляции, и что по этим величинам можно в этом отношении сравнивать отдельные станции. Это верно вполне, если на сравниваемых станциях ледообразования или нет совсем или если оно начинается уже после того, как вертикальная циркуляция дойдет до дна. Если же ледообразование начинается раньше, то для возможности сравнения общее количество тепла, отдаваемаго такой станцией, надо было бы умножить на некоторый коэффициент в несколько раз больший единицы. Величину этого коэффициента трудно определить даже приблизительно и это сильно ограничивает возможности сравнения, а именно позволяет сравнивать между собою только станции первого рода—где ледообразования нет—и станции второго рода—где происходит ледообразование, но отнюдь не станции первого и второго рода вместе.

В таблице 42 даются вычисленные описанным выше путем величины для станций нашего разреза по 35 меридиану, сделанных между 10 и 16 августа 1928 г.

Таблица 42.

Станции	φ	p	T	i	Qi	Qt	Q
1040	78°,34′	180	—1,8	2,74	21,9	18,0	39,9
41	78,00	165	—1,8	2,94	23,5	16,5	40,0
42	77,31	193	—1,8	2,65	21,2	21,2	42,4
43	76,58,1	103	—1,8	1,48	11,8	14,5	26,3
44	76,28	270	—1,9	1,79	14,3	70,2	84,5
45	76,13,4	293	—1,9	0,25	2,0	99,6	101,6
46	76,01,4	256	—1,0	—	84,5	84,5	84,5
48	75,34	172	—0,9	—	—	34,4	34,4
50	75,00	196	—1,0	—	—	41,2	41,2
52	74,32	266	—0,0	—	—	53,2	53,2
54	74,00	310	—1,0	—	—	124,0	124,0
56	73,30	244	—1,5	—	—	58,6	58,6
58	72,58	272	—0,7	—	—	63,0	63,0

В этой таблице: Столбец 1—№№ станций; Столбец 2—широта станций; Столбец 3—глубина; Столбец 4—температура до которой должен охладиться весь столб воды станции при условии, что вертикальная циркуляция дойдет до дна; Столбец 5—толщина образовавшегося льда в метрах при том же условии; Столбец 6—скрытая теплота плавления образовавшегося льда в б. кал; Столбец 7—количество тепла в б. кал. отдаваемое непосредственно водой при условии циркуляции до дна; Столбец 8—сумма столбцов 6 и 7.

Сравнение данных этой таблицы приводит к весьма интересным выводам. Действительно, станции 1040—1043 расположены на возвышенности Персея, станции 1044—1046 в проливе между возвышенностью Персея и Центральной возвышенностью, станции 1048—1050 на Центральной возвышенности и, наконец, остальные южнее Центральной возвышенности. Оказывается, что для того, чтобы на возвышенности Персея вертикальная циркуляция дошла до дна, необходимо мощное ледообразование, делающее придонную вентиляцию почти что невозможной. С другой стороны, на Центральной возвышенности вертикальная циркуляция доходит до дна быстро и образования льда не требует.

Не трудно понять причины такой разницы. Вообще „устойчивость" слоев воды в смысле сопротивления всякого рода перемешивающим усилиям определяется величиной вертикальных градиентов удельного об'ема. Чем больше этот градиент, тем труднее перемещать отдельные слои данного бассейна.

На каждом отдельном участке моря можно различить более или менее ярко выраженный слой „скачка", в котором градиент удельного об'ема является максимальным. Слой скачка может определяться или большим градиен-

том температуры, как это имеет место на глубине около 40m на ст. 1050, большим градиентом солености, как это имеет место на глубине 30m ст. 1042 или, наконец, и первым и вторым. В общем, чем ярче выражен слой скачка при условии, что он обуславливается большим градиентом солености, чем меньше глубина слоя скачка от поверхности моря и чем меньше температура поверхностных слоев, тем скорее при прочих равных условиях начинается ледообразование и, следовательно, тем менее глубина, до которой доходит вертикальная зимняя циркуляция.

После сказанного выше становится понятным следующее:

На нашем разрезе вдоль кромки льда, сделанном по возвышенности Персея, мы под холодным промежуточным слоем на глубинах больших 100m на всех станциях находили высокие температуры, во всяком случае, более высокие, чем температуры на тех же горизонтах станций, расположенных на Центральной возвышенности. Этот факт на первый взгляд тем более поражает, что площадь возвышенности Персея (в пределах 200-метровой изобаты) много больше площади Центральной возвышенности, что глубины первой (наименьшая известная 152m) меньше и, наконец, что возвышенность Персея расположена севернее Центральной возвышенности.

Уже подчеркивалось, что в Баренцовом море происхождение сравнительно высоких глубинных температур может быть об'яснено только соответствующими течениями. Эти течения могут быть очень слабы. Действительно, передача тепла от слоя к слою происходит чрезвычайно медленно. Затем, как мы вывели, при больших градиентах солености вертикальная циркуляция даже при значительном охлаждении не распространяется глубоко. Отсюда вода высокой температуры и солености может при известных условиях очень долго сохранять свою температуру под холодным промежуточным слоем. Конечно, под влиянием перемешивающего действия приливо-отливных течений, вертикальных колебаний и т. п. с течением времени эта глубинная вода должна охладиться и, если, тем не менее, температура ее сохраняется, то это может служить одним из доказательств существования на этой возвышенности постоянного течения, о котором мы уже говорили.

Таким образом, разница в глубинных температурах на возвышенности Персея и на Центральной возвышенности об'ясняется разницей в интенсивности вертикальной циркуляции, другими словами, в вентиляции глубинных вод. Последнее не может не отразиться на продуктивности дна и действительно, продуктивность дна возвышенности Персея значительно меньше, чем продуктивность дна Центральной возвышенности [1].

Обратим теперь внимание на под'ем изостер над Центральной возвышенностью. Этот под'ем изостер вполне понятен. Над Центральной возвышенностью, благодаря трению, скорость Нордкапского течения меньше, чем в рядом лежащих углублениях и потому над ней задерживаются зимние более холодные и более тяжелые воды. Летом под влиянием разницы в удельных об'емах, образующейся в связи с притоком теплых и не охлаждаемых более Нордкапских вод тяжелые воды Центральной возвышенности начинают сползать на большие глубины, окружающие эту возвышенность и таким образом их вентилируют. Этим же явлением об'ясняется вообще происхождение холодных придонных вод в глубоких впадинах Баренцова моря. Такое об'яснение происхождения холодных глубинных вод дано впервые Нансеном [2] Это об'яснение безусловно верно. Надо только не забывать, что не всякая подводная возвышенность имеет значение в этом отношении. Пример возвышенности Персея вполне доказывает только что сказанное.

---

[1] Идельсон М. С. Количественное распределение придонной фауны в южной части Баренцова моря в связи с вопросом о питании рыб. Труды Морского Научного Института.

[2] Nansen F. The Northern Waters, 1906, стр. 31.

12. Прозрачность и цвет.

Высокие широты Баренцова моря дают возможность летом делать наблюдения над прозрачностью и цветом в любое время суток и эту возможность по разным причинам мы недостаточно полно использовали. Кроме того наблюдения мы вели самым примитивным путем: диском Секки и шкалою Фореля-Уле. Тем не менее, результаты наших наблюдений представляют некоторый интерес, и о них следует сказать несколько слов.

Прежде всего заслуживают внимания наши наблюдения на суточных станциях, обнаружившие наличие колебаний в прозрачности и цвете полусуточного характера. Так на ст. 1003 (5—6 июля 1928 г. 73°16′,5 N 38°24′,5 E) мы наблюдали следующее:

Ст. 1003	5—VII					6—VII			
Час наблюдения	10	13	15	18	24	4	6	9	11
Прозрачн. в метр.	15	17	15	14	14	16	16	15	16
Цвет	5	4—5	4—5	4—5	5	5	4—5	4—5	4—5

Сопоставляя эти данные с черт. 25 мы видим, что глубинные слои (подымающиеся к поверхности во время под'ема изотерм) в общем синее и прозрачнее поверхностных.

Те-же явления подмечаются и на ст. № 965 21—22 июня 1928 года (76°06′,2 N, 30°00′5 E):

Ст. 965	21—VI					22—VI		
Час наблюдения	11	14	16	20	23	2	4½	8½
Прозрачн. в метр.	14,5	17	18	15	15	17	17	17
Цвет	4	3	4	4	4	4	4	3

Колебания прозрачности отмечены также и на полусуточной станции 1022—1024 (5—6 августа 1928 г. около 77°30′N и 30°00′E).

На всех суточных станциях амплитуда колебаний прозрачности около трех метров, что нельзя не признать значительным и вполне поддающимся учету.

Другой общий вывод, который можно сделать из наших наблюдений, заключается в том, что в общем, чем прозрачней вода, тем она синее. Наибольшая наблюдаемая нами прозрачность была 28m (4—VIII 20 ч. 76°45′N и 30°00′E) и она сопровождалась цветом 3—4. Наименьшая прозрачность—6 m при цвете 8—9 была отмечена 7 августа на 78°00′N и 34°55′E у кромки льда. Столь же малую прозрачность (6 m) мы встретили 18 августа на 71°30′,5 N и 34°48′E, при чем прозрачность сопровождалась ярко выраженным бирюзовым цветом, о котором будет еще говориться дальше. Общее правило, что прибрежные воды в общем менее прозрачны и более зелены, подтвердилось и нашими наблюдениями, но чрезвычайно характерна малая прозрачность и позеленение воды у кромки льда.

Вдоль всего нашего разреза по кромке льда это явление было чрезвычайно заметно. Вообще считается, что приближение кромки льда можно заметить по понижению температуры поверхностной воды. Во время наших работ понижение прозрачности являлось признаком гораздо более надежным, чем понижение температуры. Это явление, повидимому, надо об'яснять весенним развитием фито-планктона. К сожалению нельзя сопоставить наши наблюдения над прозрачностью и цветом с одновременными данными отдела планктона нашего Института, так как последние еще не обработаны.

Уже отмечалось, что чем прозрачнее вода—тем она синее. По нашим наблюдениям как будто можно составить табличку соответствия прозрачности и цвета; а именно:

Таблица 43.

Прозрачность	Цвет	Vt
< 7	7	
8—11	6	430
12—16	5	410
17—20	4	380
>20	3	360

Впрочем в некоторых случаях мы наблюдали довольно значительные отклонения от приводимой таблицы. Так при прозрачности 11m был отмечен цвет 9 (27 августа на 68°59′,6 N и 43°38′ E—прибрежные воды) и при прозрачности 26,5 m—цвет 5 (13 августа на 76°13′,4 N и 35°38′ E).

Другое сопоставление, которое можно сделать,—это сопоставление прозрачности с одновременно наблюдавшимися соленостями и температурами. Были вычислены средние температуры и солености поверхностных слоев, в которых наблюдалась прозрачность. Однако подметить какую нибудь зависимость между этими элементами и прозрачностью было нельзя и только сопоставление с удельными об'емами позволило сделать (хотя и очень грубое) сопоставление приведенное в таблице. Из таблицы видно, что чем легче вода, тем меньше ее прозрачность.

Совершенно необ'яснимыми остаются пока аномалии цвета морской воды. наблюдавшиеся нами дважды. Первый раз на ст. 1025 (в 14 ч. 16 августа 1928 года на 77°35′ N 31°35′ E) у кромки льда цвет воды не мог быть уложен в шкалу Фореля-Уле и помечен нами как бирюзовый с серым оттенком. Второй раз ярко выраженный бирюзовый цвет мы наблюдали на разрезе по 35 меридиану от 72°42′N до 71°13′N т. е. приблизительно на расстоянии 90 миль.

Замечательны два обстоятельства. Первое это то, что этот бирюзовый цвет распространялся не только по меридиану, но и по параллели. Действительно, такой же цвет наблюдался нами на ст. 1080 (11 ч. 25 августа 1928 года на 71°30′N и 40°16′E), следовательно, этот цвет захватывал большое пространство. Второе обстоятельство заключается в том, что в конце июня—в начале июля во время наших разрезов по 35 и 38 меридиану т. е. в том же районе никаких аномалий в цвете мы не наблюдали.

Надо напомнить, что перед нашими августовскими наблюдениями в восточной половине Баренцова моря господствовали свежие ветра, сначала нордостовой, а затем зюд остовой четверти. Возможно, что происхождение отмеченного бирюзового цвета надо так или иначе связать с этими ветрами. С другой стороны нельзя не пожалеть еще раз о невозможности сопоставить этот цвет с одновременными планктонными данными.

13. Состояние льдов.

Для понимания гидрологии Баренцова моря не менее важным, чем изучение распространения и изменчивости Нордкапского течения является изучение распространения и изменчивости границ льдов.

Наши познания в этом отношении весьма малы уже потому что по местным условиям с конца сентября и по начало апреля льды Баренцова моря остаются без всякого наблюдения. Летом у кромки льда постоянно держатся несколько Норвежских зверобойных судов, отважным капитанам которых мы, главным образом, и обязаны нашими сведениями о границах льда в разные годы и месяцы и об их изменении. Понятно эти сведения страдают несистематичностью и неполнотой. Кромка льда не освещается полностью и одновременно, и в большинстве случаев это только „южная“ или вообще внешняя кромка. Держась у кромки, зверобойные суда избегают входить в лед и возможно, что в некоторых случаях за границу льдов считается только внешняя граница узкого и длинного ледянного поля.

Начиная с 1898 г. Датским метеорологическим институтом [1] ежегодно публикуются карты состояния льдов в Полярном море, и на основании 25 летних наблюдений (с 1898 по 1922 г.) выведены средние границы льдов для апреля, мая, июня, июля и августа. Эти границы для Баренцова моря показаны на рис. 33.

С карт Датского Метеорологического института были сняты планиметром площади Баренцова моря в принятых в главе 2 границах, покрытые в различные месяцы разных годов льдом, и затем вычислены проценты площадей, занятых льдом, по отношению к общей площади Баренцова моря. Эти данные приводятся в таблице 44 [2].

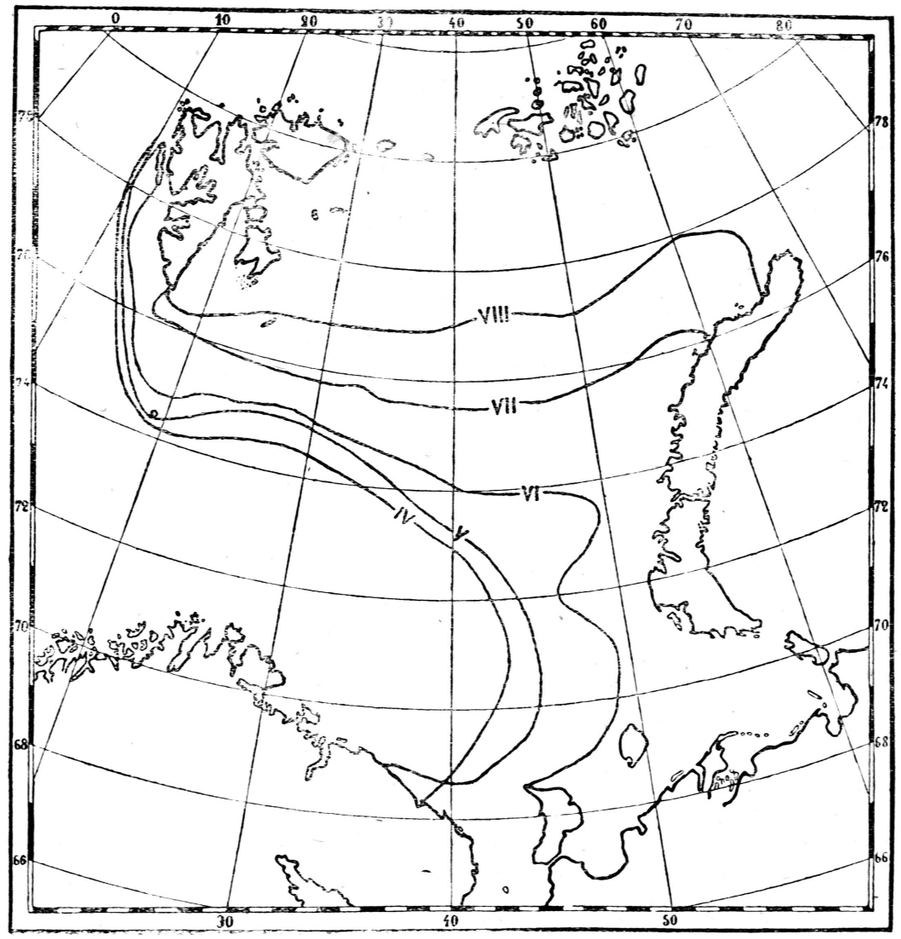

Рис. 33. Средние месячные границы льдов в Баренцовом море.

[1] Det Danske Meteorologiske Institute. The state of the ice in the Arctic Seas
[2] См. рис. 34.

Как бы приближенно ни были проведены приведенные на рис. 33 средние месячные границы льдов, они, как этого и следовало ожидать, согласуются с рельефом дна.

Мы видели, что подводные возвышенности, на которых, благодаря трению, происходит замедление Нордкапского течения, являются своего рода ледовыми лабораториями, где ледообразование начинается прежде всего, идет интенсивнее всего и, наконец, где таяние льда за счет тепла Нордкапских вод, благодаря их медленному здесь продвижению, идет медленнее всего.

Граница льдов с наступлением зимних холодов постепенно продвигается к югу и западу, при чем этот процесс идет на подводных возвышенностях быстрее, чем на глубоких местах и к апрелю, когда граница занимает в среднем свое наиболее южное и западное положение, только юго-западная часть моря с глубинами более 200m остается свободной ото льда.

Таблица 44.

Площади льдов по отношению к общей площади Баренцова моря (проценты).

Год	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Среднее	Отклонения от средней
1900	85	69	57	27	15	51	+ 4
1	74	70	58	44	20	53	+ 2
2	87	84	78	50	25	65	—10
3	78	68	62	47	40	59	— 4
4	65	51	39	27	16	40	+15
5	69	52	46	28	15	42	+13
6	71	62	53	33	11	46	+ 9
7	61	56	41	22	18	40	+15
8	63	59	50	16	11	39	+16
9	71	70	73	50	28	58	— 3
10	70	66	57	43	31	53	+ 2
11	78	68	65	40	26	55	0
12	85	85	68	44	36	65	—10
13	78	74	67	53	29	60	— 5
14	68	69	59	46	32	55	0
15	81	63	61	36	27	54	+ 1
16	68	84	80	62	22	63	— 8
17	92	88	81	65	38	74	—19
18	75	80	72	52	31	60	— 5
19	77	69	64	29	19	51	+ 4
20	68	50	38	33	20	42	+13
21	71	47	42	34	20	43	+12
22	63	62	34	19	4	36	+19
23	70	55	41	23	2	38	+17
24	69	55	43	13	9	37	+18
25	63	57	40	20	13	38	+17
26	77	68	55	43	24	53	+ 2
27	77	72	66	47	22	57	— 2
28	76	55	44	30	20	45	+10
Среднее 1898—1922	78	73	64	38	23	55	
Среднее 1900—1928	74	66	57	37	22	51	

К маю граница только несколько отодвигается на север и восток и в общем сходна с границей льдов в апреле.

Июньская граница, проходя несколько севернее о. Медвежий, проходит к югу от Центральной возвышенности и очень характерно огибает с запада возвышенность Гусиной земли.

В июле очищается ото льда все Баренцово море южнее 75—76° с. ш. и несколько севернее вдоль Новой Земли.

В августе граница отодвигается приблизительно на градус севернее.

Снимая с карты расстояния между средними месячными границами льда мы получаем следующую таблицу.

Таблица 45.

Отступание границы льда по средним 1898—1922 г. (мили в сутки).

Время с.....по.....	Направления 20 мерид.	30 мерид.	35 мерид.	По направл. к Карск. воротам	Вдоль Новой Земли
Апрель—май	0.3	1.0	0.8	1.6	1 0
Май —июнь	1.0	0.3	0.7	3.3	4.0
Июнь —июль	2.3	1.5	2.0	6.0	7.0
Июль —август	0.6	2.0	2.4	—	4.0
Среднее	1 0	1.2	1.5	3.7	4.0

Из этой таблицы следует, что в среднем наиболее быстро граница льда отступает с июня по июль и, вообще, в северном направлении гораздо медленнее, чем в направлениях восточном и северо-восточном, т. е. в направлениях прямого продвижения Нордкапского течения быстрее, чем там, где Нордкапские воды, образуя циклоническое движение, возвращаются на запад.

Таблица 46.

Максимальные и минимальные площади льда по месяцам.

Месяцы	Максимум Год	Максимум %	Минимум Год	Минимум %
Апрель	1917	92	1907	61
Май	1917	88	1921	47
Июнь	1917	81	1922	34
Июль	1917	65	1924	13
Август	1903	40	1923	2
Среднее за год	1917	74	1922	36

Обращаясь теперь к таблице площадей льда в различные месяцы разных лет (табл. 46), мы видим очень большие отклонения „ледовитости" разных лет от средних. Наиболее тяжелым в ледовом отношении был, повидимому, 1917 год, когда в среднем за лето 74 всей поверхности Баренцова моря было покрыто льдом. Наиболее благоприятным годом был, судя по картам Датского института, 1922 год с средней площадью льда в 36.

Не менее разительны наблюдавшиеся разницы в площадях льда в различные месяцы (рис. 34).

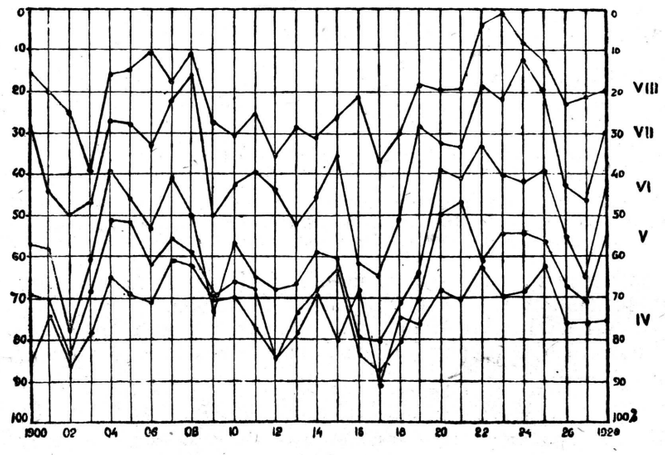

Рис. 34. Площади льдов в Баренцовом море (в процентах) в апреле—августе.

Поскольку можно судить по картам Датского института, площадь льда с началом лета постепенно уменьшается. Некоторые исключения, как например, в 1914 и 1916 г., когда площадь льда в мае была больше чем в апреле, или в 1919 г., когда площадь в июне была больше, чем в мае, скорее надо об'яснить несистематичностью и неполнотой данных, чем истинным положением вещей.

Далее из карт, как правило следует, что большие площади льдов к началу лета в данном году сопровождаются большой ледовитостью в течении всего лета. Отсюда, зная состояние льдов в апреле, можно с большой вероятностью говорить о состоянии льдов в августе и сентябре.

Ледовитость каждого года обуславливается несколькими причинами:

1) Состоянием льдов и степенью прогретости вод Баренцова моря к началу предшествующей зимы.

2) Суровостью данной зимы [1].

3) Температурой вод Нордкапского течения, поступающих в данное лето в Баренцово море, и являющихся одной из главных причин таяния льда и

4) Направлением и силой ветра в течении летних месяцев, так как ветра, с одной стороны, вызывают поверхностные течения и, с другой стороны, передвигают ледяные поля, то в одном, то в другом направлении.

Не занимаясь разбором и выявлением влияния каждой из этих причин в отдельности, сделаем одно сопоставление.

О температуре вод Нордкапского течения в данном году мы безусловно можем судить по средним температурам разрезов по Кольскому меридиану, приведенным к одной и той же дате.

На рис. 35 сопоставлены отклонения приведенных средних температур разрезов по Кольскому меридиану и отклонения ледовитости отдельных лет в процентах для двух периодов наблюдений, а именно с 1900—1906 год и с 1921 по 1928 год.

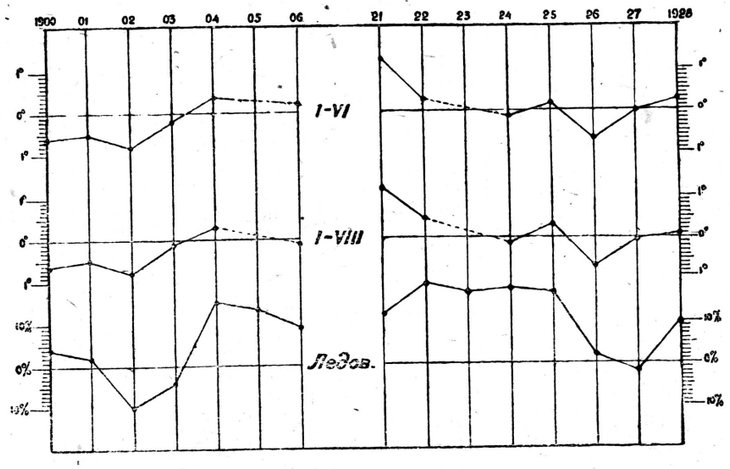

Рис. 35. Отклонения средних температур разрезов по Кольскому меридиану (от 69° 30′ до 72° 30′ N), приведенных к 1/VI и к 1/VIII, и средних годовых площадей льда (IV—VIII) в Баренцовом море от средних многолетних.

Из этого чертежа следует, во первых, что кривые средних температур разрезов, приведенных к 1/VI и к 1/VIII, совершенно подобны. Поэтому, измеряя температуры на Кольском меридиане в начале лета, мы можем с полным вероятием судить о температуре разреза по Кольскому меридиану осенью.

[1] Надо заметить, что интенсивность ледообразования зависит не только от низких температур воздуха, но и в очень сильной степени от направления и силы зимних ветров. Как уже указывалось, ледообразование идет интенсивнее всего на малых глубинах. Соответствующие ветра сгоняют образовавшийся лед и, таким образом, вызывается все новое и новое ледообразование.

Во-вторых, из чертежа видим, что высокие температуры Нордкапского течения обуславливают малую ледовитость Баренцова моря на следующий год.

Принимая во внимание неполноту наблюдений надо льдами, а также малое число сделанных по Кольскому меридиану разрезов, согласие трех кривых рис. 35 замечательно.

Это имеет чрезвычайное практическое значение хотя бы для Морского Северного пути, так как ледовитость Баренцова моря отражается известным образом на ледовитости Карского моря.

Летом 1928 года „Персей“ несколько раз входил в лед и, кроме того, прошел во льду и вдоль кромки около 200 миль. Это позволило нам, во первых, сделать некоторые исследования льда: его структуры, плотности и т. п. чему будет посвящена специальная работа и, во вторых, произвести некоторые наблюдения над положением кромки, изменением ее положения с течением времени и над причинами, обуславливающими таяние льда.

Таблица 47.

Широты кромки льда.

Меридиан		30	35	40	43
По Датским картам	Июль	75° 50	75° 40	75° 35	75° 30
	Август	76 52	76 55	77 00	77 15
Наблюдения „Персея“ в 1928 году	20—24 июня	76 10	76 35		
	5—9 августа	77 30	78 00	78 10	78 47
	10 августа		78 34		

Из этой таблицы следует, во первых, что кромка льда на участке 30—43 меридиан в 1928 г. была севернее средних границ льда по Датским картам. Во вторых, наблюдавшаяся нами скорость отступания кромки льда по 30 и 35 меридиану очень близка к скорости отступания средних границ льда по тем же меридианам по Датским картам.

Обращает на себя внимание изменение границы льда по 35 меридиану за время с 7 по 10 авгувта. Выходит, что как будто бы за три, четыре дня кромка отодвинулась на 34 мили на север т. е. отступала со скоростью около 10 миль в сутки. Об яснение этого факта надо искать, конечно, вовсе не в наличии в данном месте каких либо сильных течений, постоянных или временных, или в интенсивном таянии, хотя безусловно и то и другое сыграло свою роль. Главная причина, по моему мнению, и это вполне согласуется со всеми наблюдениями, заключается в том, что кромка льда никогда не представляет собою ровной и сплошной линии. В зависимости от ветров около кромки держатся или отдельные большие ледяные поля, или же от кромки выступают длинные (длиной иногда в десятки миль) языки самой причудливой формы, образующие своего рода ледяные мешки.

Наш путь от 30 меридиана на восток к 43 меридиану вдоль кромки представлял собою в сущности огибание с юга наиболее вытянутых на юг ледяных языков, при чем иногда, не замечая ничего впереди себя по курсу, мы забирались на несколько миль вглубь одного из ледяных мешков и затем были принуждены возвращаться обратно и огибать язык для того, чтобы, несколько времени спустя, повторить ту же историю.

Во время нашего пути вдоль кромки с 5 по 9 августа погода была все время почти что штилевая и, вероятнее всего, что у 35 меридиана как раз и тянулся на юг один из ледяных языков. Но 9 августа поднялся норд-ост силой до 5—6 баллов. Этот ветер, во первых, отодвинул кромку льда на вест так что, возвращаясь обратно с 43 на 35 меридиан, мы не видели льда там, где еще за день, за два до того мы пробирались, огибая ледяные языки, во вторых, оторвал некоторые языки и понес их в теплые Нордкапские воды, где они размельчались, образовали ледяную кашу и таяли буквально на наших

глазах и, наконец, завернул некоторые языки, и, уничтожив таким образом ледовые мешки, прижал их к кромке. Этим и надо об'яснять, главным образом, отмеченное нами очень быстрое отступание кромки льда по 35 меридиану.

Вообще, южная и юго-восточная часть Баренцова моря под влиянием нескольких причин, в частности, тепла поступающих в Баренцово море Нордкапских вод, зимнее охлаждение которых с началом лета прекращается, очищается ото льда довольно быстро и кромка отступает к возвышенности Персея и к Земле Франца Иосифа

Кромка тянется здесь приблизительно с веста на ост и на норд-ост и благодаря тому что на возвышенности Персея получается некоторая застойность вод, таяние идет сравнительно медленно и нужны некоторые внешние причины, чтобы это таяние ускорить. Этой причиной является ветер.

Действительно, зюдовые ветра вызывают соответственные поверхностные течения и гонят теплые воды на кромку льда. Под влиянием этих вод начинается размывание кромки, усиливаемое волнением, перемешивающим охлажденные от соприкосновения со льдом слои. Наоборот, нордовые ветра отрывают от кромки отдельные льдины и ледяные языки и гонят их в проходящие мимо Нордкапские воды, где они размываются, разламываются, перевертываются, образуют ледяную кашу и в конце концов, исчезают. Все эти явления совершались на наших глазах во время нашего разреза вдоль кромки льда, во время стоянок во льду и во время наших северных суточных станций. Наименьшее значение для таяния льда в районе нашмх наблюдений имели остовые и вестовые ветра. Первые лишь прижимают кромку по направлению к Шпицбергену; вторые несут лед в сравнительно холодные воды между Землей Франца Иосифа и Новой Землей. Таким образом, последние ветры имеют значение, главным образом для изменения площади льдов, а не для их таяния.

Мы оставили льды 10 августа, во время наиболее интенсивного их таяния. Этот процесс в северных широтах Баренцова моря продолжается приблизительно до середины—конца сентября, когда он начинает наступающими холодами сначала замедляться, потом уравновешиваться и, наконец, уступать место новому ледообразованию.

Возникают интереснейшие вопросы, успевает ли вся масса льда, образовавшегося в Баренцовом море за зиму и покрывающего к весне это море на три четверти его поверхности, растаять за короткое лето. В некоторые годы, как например 1923 г., когда „Персей“ смог пройти к 1 сентября к западной оконечности Земли Франца Иосифа и оттуда к северной оконечности Новой Земли, не встретив на пути ни одной льдины, безусловно весь лед успевает растаять. В другие годы, как например, 1924, 1926 и 1928 годы, когда „Персей“ в том же районе встречал тяжелые льды, безусловно, часть льда остается до следующего лета. В последнем случае вполне вероятно образование в северной и северо-западной части Баренцова моря многолетнего льда, а между тем ни разу за время своих плаваний „Персей“ не встретил льдин, которые можно было бы считать за многолетние.

Лично я считаю, что в главной своей массе лед, образовавшийся в Баренцовом море, в этом море и растаивает. Безусловно существует вынос некоторого количества льда течением Медвежьего острова в Атлантический океан, несомненно часть льда вносится и часть выносится в пролив между Землей Франца Иосифа и Новой Землей и некоторое количество льда поступает в Баренцово море через пролив между Землей Франца Иосифа и Шпицбергеном, но все это имеет сравнительно малое значение.

Главная причина—это большое циклоническое движение вод Баренцова моря, которое, идя на восток вдоль Мурмана, подымается на север вдоль Новой Земли, сворачивает на запад вдоль южного побережья Земли Франца Иосифа и на юг вдоль восточного побережья Шпицбергена.

Это движение обуславливает постоянный, не исключая и зимы, вынос льдов по направлению к о. Медвежий в теплые Нордкапские воды, не успевающие и во время зимы достаточно охладиться. Таким образом, льды северо-западной части Баренцова моря, не успевающие растаять за лето, в течении ближайшей же зимы выносятся в юго-западную часть Баренцова моря отчасти

для того, чтобы увлечься в Атлантический океан, а отчасти для того, чтобы растаять в теплых Нордкапских водах.

Другими словами, льды повторяют круговой путь, о котором мы можем судить по пути буев и бутылок, брошенных и найденных в Баренцовом море. То же доказывают айсберги, замеченные весной 1929 г. у восточных берегов Мурмана.

Таблица 48.

Буи в Баренцовом море.

Кем брошен	№ буя	Брошен		Найден	
		Когда	Где	Когда	Где
Эксп. Вейпрехта	—	1874	У берегов Фр. Иосифа	1921 (?)	На м. Сухой нос на Новой Земле.
Эксп. Циглер Бальдвина	33	9/VI 1902	„	18/IX 1908	В море у Харловки (Мурман)
„	105	19/VI 1902	80°21′ с. ш. 56°40′ в. д.	20/VI 1905	На сев. берегу о. Кильдин.

Февраль 1929 г.

Содержание.

Стр.

Н. Н. Зубов. Гидрологические работы Морского Научного Института в юго-западной части Баренцова моря летом 1928 г. на э/с. „Персей“ . . . 3

N. N. Zubow. Hydrological investigations in the south-western part of the Barents sea during the summer 1928. (Summary) 81