

А.К. Бурке

Морские льды

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 91
ББК 26.8
А11

А11 **А.К. Бурке**
Морские льды / А.К. Бурке – М.: Книга по Требованию, 2014. – 96 с.

ISBN 978-5-458-44836-9

ISBN 978-5-458-44836-9

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2014

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2014

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

О Т А В Т О Р А

Развитие коммерческой эксплуатации Северного морского пути увеличивает с каждым днем количество людей, занятых на отдельных участках работы в Арктике.

Однако далеко не все полярные работники имеют ясное представление о плавании во льдах арктических морей. У нас издан ряд работ о льдах, но многие из них являются строго научными и поэтому мало доступными рядовому читателю. Кроме того, работы эти не систематизированы и не представляют законченного труда.

Вначале автор ставил своей целью создать книгу „Морские льды и ледокольное дело“, в которой вкратце излагалось бы все, что надо знать советскому полярнику об условиях плавания во льдах. Но, к сожалению, полностью осуществить свой замысел автору не удалось.

Предлагаемый труд „Морские льды“ является лишь частью задуманной работы и представляет собой главным образом сводку взглядов и выводов автора, основанных на его личных наблюдениях и сложившихся в течение многих лет плавания во льдах. Однако в целях обеспечения книге необходимой полноты автор стремился систематизировать в ней также и наиболее существенные общие данные о морских льдах, почерпнутые из литературных источников.

Автор выражает глубокую признательность В. В. Тимонову, взявшему на себя не только редактирование книги, но также большой труд по обработке всей рукописи.



1. ОБРАЗОВАНИЕ ЛЬДА В МОРЕ

Процесс образования льда в морской воде отличается от образования льда в пресных водах главным образом благодаря наличию в морской воде солей. В то время как пресная вода становится наиболее плотной при 4°C , а замерзает при 0° , температура наибольшей плотности морской воды (θ°) и температура ее замерзания (τ°) значительно изменяются в зависимости от солености морской воды ($S^{\circ}/_{\text{00}}$).

Эта зависимость ясна из помещенной ниже таблицы, заимствованной из „Океанографии“ Ю. М. Шокальского.

Таблица 1

Зависимость температур замерзания и наибольшей плотности воды от ее солености

Соленость в ‰ ¹	Температура замерзания	Температура наиболь- шей плотности
0	0°	$3^{\circ},98$
5	$-0,3$	$2,9$
10	$-0,5$	$1,9$
15	$-0,8$	$0,8$
20	$-1,1$	$-0,3$
24,695	$-1,332$	$-1,332$
25	$-1,35$	$(-1,4)$
30	$-1,6$	$(-2,5)$
35	$-1,9$	$(-3,5)$
40	$-2,2$	$(-4,5)$

Рассматривая эту таблицу, видим, что по мере увеличения солености температура замерзания понижается,

¹ Соленость морской воды принято выражать не в процентах, а в промилле, т. е. указывать, сколько весовых частей соли содержится в одной тысяче таких же частей воды. Промилле обозначаются знаком ‰ .

достигая при 35‰ — $1^{\circ},9$, а при 40‰ уже — $2^{\circ},2$. Температура наибольшей плотности воды с увеличением солёности тоже понижается, но гораздо быстрее, и уже при солёности в $24,695$ или, округляя, $24,7\text{‰}$ уравнивается с температурой замерзания. В таблице 1 нарочно выделена эта солёность, при которой τ° и θ° имеют одинаковые значения и равняются — $1^{\circ},332$. Для большей наглядности таблица 1 изображена и в виде графика (рис. 1). На этом графике видно, что линия температур наибольшей плотности (θ°) наклонена к горизонтальной оси значительно круче линии

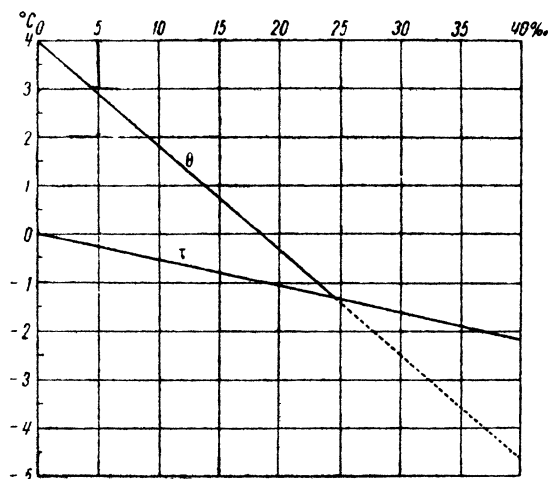


Рис. 1. Зависимость температуры замерзания морской воды (τ°) и температуры ее наибольшей плотности (θ°) от солёности.

температур замерзания (τ°); обе линии пересекаются в точке, соответствующей солёности $24,7\text{‰}$.¹

Плотность воды играет при ее замерзании значительную роль. Для лучшего уяснения всего хода замерзания разберем вопрос несколько подробнее. Рассмотрим сначала ледообразование в пресной воде.

Охлаждение всякого водоема происходит главным образом с поверхности; при этом верхние частицы воды, охлаждаясь, становятся плотнее и, следовательно, тяжелее,

¹ Температуры наибольшей плотности воды, солёность которой больше $24,7\text{‰}$, показаны в таблице в скобках, а на рис. 1 — пунктиром по причине того, что в природе вода не может охладиться до этих температур, так как она до этого достигнет температуры замерзания и превратится в лед. (Прим. ред.)

и начинают опускаться в толщу воды, пропуская взамен себя к поверхности более теплые и более легкие частицы. Возникает, таким образом, вертикальная циркуляция воды, называемая конвекцией. Конвекция в пресных водоемах продолжается лишь до тех пор, пока вся толща воды от поверхности до дна не охладится до 4° , после чего перемещение частиц воды прекращается. При дальнейшем понижении температуры воды ниже 4° плотность воды уже не увеличивается, а, наоборот, уменьшается; следовательно, верхние слои делаются легче нижележащих и стремятся оставаться на поверхности.

Как только температура поверхности упадет ниже 0° , на поверхности воды начинает появляться лед. Лед на поверхности пресной воды образуется в виде острых тонких стрел или игл, распространяясь преимущественно от береговой черты к средней части водоема. Вслед за появлением первых стрелок ледяных кристаллов образуется и тонкая ледяная корка, прозрачная в начале и приобретающая впоследствии с увеличением толщины некоторые оттенки. Пресноводный лед уже в виде тоненькой пленки, т. е. с самого начала своего образования, довольно тверд, напоминает стекло и имеет преимущественно гладкие поверхности.

Образование льда в морской воде происходит иначе. Рассмотрим сначала воды, соленость которых ниже $24,7\text{‰}$, т. е. так называемые солоноватые воды. Казалось бы, что образование льда в таких водах должно происходить так же, как и в пресной воде, потому что при охлаждении солоноватых вод температура наибольшей плотности наступает раньше температуры замерзания. Однако в действительности сходство здесь неполное. Общность между пресной и солоноватой водой существует лишь в том, что конвекция в тех и других водах прекращается до момента наступления ледообразования; но как только в воде даже с самой незначительной соленостью появились первые ледяные кристаллы, общность явлений нарушается. Происходит это потому, что кристаллы льда, образующегося из соленой воды, не содержат в себе солей, так как соли при образовании льда переходят в окружающую воду, повышая тем самым ее соленость, а следовательно и плотность. Возникающая таким образом благодаря осолонению новая конвекция замедляет замерзание в силу замещения поверхностных частиц воды частицами с более высокой температурой из нижележащего слоя.

Отметим далее, что кристаллы в соленой воде в начале своего образования плавают на поверхности воды отдельно

и не так быстро соединяются вместе в ледяную корку, как это происходит в пресной воде. Смерзание ледяных кристаллов задерживается несколько увеличившейся соленостью воды, так как для замерзания этой более соленой воды нужна более низкая температура, чем требовалась для появления первых ледяных кристаллов. Следовательно, если только охлаждение не идет очень интенсивно, то понадобится некоторое время для достижения температуры, позволяющей образоваться в более соленой воде следующей серии ледяных кристаллов. Это вторичное появление ледяных кристаллов в свою очередь увеличивает соленость окружающей их воды, что снова требует дальнейшего понижения температуры до новой температуры замерзания, а следовательно и некоторого промежутка времени. Таким образом, появление льда в морской воде происходит этапами.¹

Основным отличием процессов охлаждения воды и образования льда в собственно-морских соленых водах, т. е. в водах с соленостью больше 24,7‰, от тех же процессов в пресных и солоноватых водах является то обстоятельство, что температура наибольшей плотности соленых вод ни же, чем температура их замерзания. По этой причине охлаждение поверхностных частиц воды вплоть до температуры замерзания будет вызывать конвекцию, и ледообразование, как правило, сможет начаться только после того, как весь доступный конвекции слой достигнет температуры замерзания воды данной солености. При дальнейшем охлаждении конвекция будет продолжаться, и благодаря этому образование ледяных кристаллов будет происходить не только на поверхности, но и во всем слое конвекции. Процесс образования кристаллов, как и в предыдущем случае, будет протекать этапами.

Ледяные кристаллы, образовавшиеся в толще слоя конвекции, благодаря своему меньшему удельному весу всплывают на поверхность и остаются на плаву с погружением примерно $\frac{8}{9}$ своего объема. По мере продолжения охлаждения слой образовавшихся на поверхности воды и всплывших ледяных кристаллов становится гуще и толще и начинает смерзаться.

По мере смерзания кристаллов и их скоплений в ледяной покров морская вода, заполняющая промежутки между кристаллами, частично разобьется от остальной водной

¹ Надо, впрочем, иметь в виду, что описанное замедление смерзания кристаллов будет проявляться заметно только в тех случаях, когда очень неглубоко под поверхностью располагается скачок солености, т. е. когда осолонение происходит лишь в тонком слое воды. (Прим. ред.)

массы и остается, таким образом, в виде включений во льду. Благодаря продолжающемуся при росте кристаллов выделению солей соленость этой оставшейся во льду воды резко возрастает до стадии рассола. В дальнейшем часть рассола выжимается на поверхность, часть остается в ячейках или полостях во льду, часть стекает в нижние слои льда. Подробнее это явление будет рассмотрено в разделе, посвященном свойствам морского льда.

В связи с описанными отличиями в процессе образования морского льда первоначальные его виды отличаются от молодого пресноводного льда следующими особенностями: 1) в первой стадии образования лед состоит из скоплений отдельно плавающих ледяных кристаллов; 2) вторая стадия характеризуется появлением новообразовавшейся корки льда. Эта корка не представляет собой твердого стеклообразного льда, а является очень рыхлой, эластичной ледообразной массой, легко распадающейся и свободно изгибающейся без излома при небольших волнообразных колебаниях воды; 3) морской лед благодаря наличию рассола между ледяными кристаллами — соленый.

Описанная картина замерзания морской воды имеет место при условии спокойного состояния моря. При наличии же волнения или сильных течений условия замерзания несколько изменяются: происходит перемешивание воды, и это может вначале несколько задерживать появление льда, но затем способствует его быстрейшему росту благодаря большему охлаждению толстых слоев воды.

При выпадении снега во время замерзания воды получается опреснение поверхностного слоя воды, что способствует замерзанию.





II. СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ МОРСКОГО ЛЬДА

Соленость льда

Мы уже знаем, что морской лед сохраняет в себе часть солей, содержавшихся в воде, из которой лед образовался. Теперь рассмотрим условия, от которых зависит количество солей во льду, и выясним, отчего происходят изменения этого количества.

Содержание солей в морском льду меняется часто, почти беспрерывно, от различных причин.

В начале замерзания морской воды, как указывалось выше, ледяные кристаллы, накапливающиеся под поверхностью воды беспорядочной массой, смерзаясь, захватывают некоторое количество рассола, который при дальнейшем замерзании, т. е. в начале образования ледяной корки, частично выдавливается на поверхность



Рис. 2. Соль на поверхности льда.

льда. Если замерзание происходит при весьма низких температурах, то рассол, замерзая на поверхности льда, выделяет сухие кристаллы соли, располагающиеся в виде пучков или кустиков на льду (рис. 2). Наличие соли на поверхности морского льда делает скольжение саней по льду невозможным.

При образовании молодого льда наибольшее количество солей остается именно в верхнем слое, где ледяные кристаллы накапливались в виде беспорядочного слоя до смерзания их в ледяную корку. При дальнейшем нарастании льда, идущем уже от нижней его поверхности, новообразующиеся ледяные кристаллы нарастают в виде игл, направленных по преимуществу вертикально вниз. В соответствии с этим количество рассола, остающегося во льду, в нижних его слоях уже несколько меньше, чем в верхних, так как больше рассола успевает стекать вниз (рис. 3).

Шведский ученый Ф. Мальмгрэн,¹ производивший исследования солености морского льда, приводит следующие цифры:

Таблица 2

Вертикальное распределение солености
в образце, извлеченном из ледяного покрова

Расстояние от поверхности льда в см.	0	6	13	25	45	82	95
Соленость в ‰	6,74	5,28	5,31	3,84	4,37	3,48	3,17

Эти определения были произведены на корабле „Мод“, во время дрейфа в Северном Ледовитом океане в 1924/25 г. Лед начал образовываться в ноябре 1924 г., а соленость была определена в апреле 1925 г. Ф. Мальмгрэн приводит также определения другого полярного исследователя — К. Вейпрехта. Последний во время известного плавания на

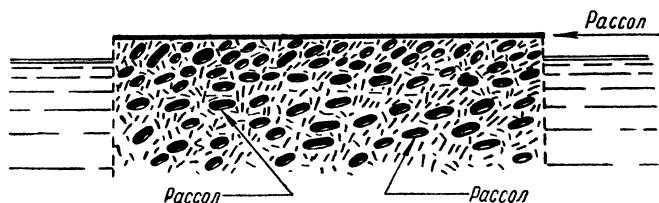


Рис. 3. Примерная схема распределения рассола во льду при замерзании.

судне „Тегеттгоф“ исследовал лед, образовавшийся при 33° мороза, через 60 часов с начала его образования; соленость первых сверху 5 см льда оказалась равной 25‰, следующих 9 см — 13‰ и последних 5 см — 12‰. На основании ряда подобных определений удалось установить, что количество солей во льду зависит: во-первых, от интенсивности хода замерзания — чем быстрее идет ледообразование, тем больше солей остается во льду; во-вторых, от возраста льда — рассол постепенно просачивается из полостей во льду в воду, и потому чем старше лед, тем меньше остается в нем солей, и, в-третьих, от толщины льда — чем лед толще, тем меньше солей будет он содержать, в особенности в нижней своей части. Последнее обстоятельство есть отчасти следствие первого, так как с ростом толщины льда процесс замерзания замедляется, что и способствует уменьшению количества остающихся во льду солей.

¹ Финн Мальмгрэн, О свойствах морского льда, Л., 1930.

Содержание соли во льдинах, нагроможденных благодаря торосообразованию над поверхностью льда или в отдельных ропках, падает довольно быстро; годовалые верхние льдины оказываются почти пресными еще до начала таяния.

Изменения содержания солей в морском льду происходят и вследствие таяния, и притом в различных видах льда по-разному. Здесь большую роль играет снежный покров, дающий при таянии пресную воду. Различия же зависят, в частности, от того, тает ли сплошной ледяной покров или отдельные куски пловучего льда. Подробнее эти явления будут рассмотрены в разделе, посвященном таянию льда.

Плотность льда

Общезвестно, что вода при замерзании расширяется. Объем пресноводного льда превышает объем воды, из которой он образовался, примерно на 9%. Плотность льда, образовавшегося из пресной воды и не содержащего пузырьков воздуха, составляет приблизительно 0,92. Соответственно этому большая часть льдины при плавании погружена в воду и лишь небольшая доля возвышается над уровнем воды.

Плотность морского льда далеко не представляет собой постоянной величины и может заметно варьировать в зависимости от солености льда и, в особенности, от его пористости. Чаще всего плотность морского льда меняется в пределах от 0,80 до 0,90. Плотность айсбергов бывает и значительно меньше — по Смиту до 0,6. Соответственно плотности меняется и „осадка“, или углубление льдин, зависящее, впрочем, также от плотности воды, в которой лед плавает, и от формы льдин.

Профессор Н. Н. Зубов¹ приводит таблицу, дающую отношение углубления подводной части льдины к высоте ее надводной части при разных плотностях воды и льда. Эта таблица вычислена для льдин с горизонтальными поверхностями и вертикальными стенками. Приводим эту таблицу ниже.

Морской лед характеризуют по преимуществу две последние строки приведенной таблицы — и то за исключением первого столбца, относящегося к пресной воде. Таким образом, можно считать, что обычно объем подводной части льдин в море превышает объем надводной их части в 5—8 раз. То же относится и к осадке льдин, если только

¹ Проф. Н. Н. Зубов, Морские воды и льды, М., 1938.