

Мальмгрен Финн

О свойствах морского льда

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 82-3
ББК 84-4
Ф60

Ф60 **Финн М.**
О свойствах морского льда / Мальмгрен Финн – М.: Книга по Требованию, 2025. – 90 с.

ISBN 978-5-519-95117-3

ISBN 978-5-519-95117-3

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2025
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2025

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 первоизданном 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.

Финн Мальмгрен.

Некролог Г. У. Свердрупа.

Финн Мальмгрен родился в Готенбурге (Швеция) 9 февраля 1895 г. В 1912 г. он поступил на физико-математический факультет университета в Упсале. Здесь, помимо учебных занятий по специальности, ему удавалось уделять время некоторым искусствам, к которым он питал склонность, в особенности—рисованию.

Метеорологией он заинтересовался в 1917 г., когда профессор Аксель Гамберг пригласил его в качестве наблюдателя на горную станцию (Partet-jakko) Пертегьеко, в Шведской Лапландии. Станция эта находится на одинокой вершине, возвышающейся на 1800 метров над уровнем моря, и в зимнее время условия жизни там тяжелее, чем на многих арктических станциях. Во время одной вьюги погиб старший наблюдатель, и Мальмгрену пришлось взять на себя руководство станцией. Возвратившись в Упсалу, Мальмгрен был приглашен профессором Филиппом Окербломом (Akerblom), директором Упсальской метеорологической обсерватории, на должность ассистента и занимал эту должность до 1920 г., когда вступил в качестве ассистента в Шведскую Гидрографическую комиссию. В течение двух лет он работал с профессором Отто Петтерсоном, в Борне (Вогно) и участвовал в нескольких океанографических рейсах на судне «Скагеррак». Там он ведал преимущественно химическими исследованиями, позволившими ему в совершенстве овладеть гидрохимией моря. В Борне он пробыл до марта 1922 г., когда получил приглашение принять участие в экспедиции «Мод».

В плавании на «Мод», из Ситля в Арктику Мальмгрену пришлось извещать и работу матроса: на «Мод» было мало людей, и научный персонал помогал команде в управлении парусами и в других навигационных нуждах.

Мальмгрен не готовился к исполнению подобных обязанностей, но он был хорошим спортсменом, бодро несшим вахту и стоявшим за штурвалом. Наконец, когда льды воспротивились дальнейшему продвижению судна, в экспедиции началась научная работа.

Первоначально у Мальмгрена было мало времени для самостоятельных исследований, для воплощения оригинальных идей,—приходилось выполнять обычную систематическую работу, детально обдуманную мною заранее. Он следил за метеорологическими инструментами и производил наблюдения, в чем ему помогали как я сам, так и вахтенные—в ночное время. Мы поде-

лили между собою работы на океанографических станциях, при чем Мальмгрен взял на себя химические исследования, определение солености посредством титрования на хлор, определение щелочности и содержания кислорода. Позже он усердно занялся шаро-пилотными наблюдениями и достиг в них такого совершенства, что обходился без всякой посторонней помощи при пуске шаров и при всевозможных связанных с этим наблюдениях и отсчетах.

Только зимой, когда шары пускались в темноте, с подвешенными к ним маленькими фонарями, явилась надобность в двух наблюдателях.

В области земного магнетизма он исследовал магнитное склонение в сроки, совпадающие с моими астрономическими наблюдениями.

Эти обязанности занимали у него большую часть времени в первую зиму, пока не выработался навык во всевозможных наблюдениях, измерениях, отсчетах и т. д.

В этот период я восхищался энергией и энтузиазмом, с которыми он предался работе. Научные исследования экспедиции во многом выиграли благодаря его постоянному стремлению усовершенствовать и облегчить методику наблюдений. Впоследствии мы много времени посвятили обсуждению полученных результатов и распространению наших работ в новых направлениях. Здесь я освободил Мальмгрена от обязанностей моего помощника, мы с ним взяли себе в помощь других наблюдателей, разделили между собою обычные наблюдения и занялись исследованиями в самостоятельных областях, наиболее интересовавших каждого из нас.

Мальмгрен избрал себе проблемы, давшие ему возможность проявить способности блестящего конструктора приборов. Специальное исследование он посвятил влажности воздуха. Результаты его опубликованы в работе: «Исследования влажности и инея в области арктического океана» («Studies of Humidity and Hoar-Frost over the Arctic Ocean» Geofysiske Publikationer Vol. IV No 6). Эта работа была написана на борту «Мод», весной 1925 г. и напечатана вскоре после нашего возвращения к цивилизованному миру. В этой работе Мальмгрен описывает свой остроумный прибор для определения влажности воздуха при очень низких температурах—психрометр типа Ассмана, в котором ртутные термометры заменены термоэлементами. Там же описан изобретенный им инструмент для записи количества инея, который оседал на специально поставленном цилиндре.

Его исследования отчетливо выяснили законы изменения влажности воздуха в арктике и в особенности—условия, в которых образуется иней. Эти исследования приобрели для него особенно важное значение впоследствии, когда он принял участие в полете воздушного корабля.

Одновременно с этими работами он предпринял специальное исследование физических свойств морского льда, результаты которого изложены в предлагаемом переводе на русский язык.

Пожалуй, интереснейшей частью этого исследования является измерение удельной теплоемкости морского льда посредством электрического калориметра его собственной конструкции. Измерения его не могли, разумеется, быть такими точными, как измерения в лабораторной обстановке, где в распоряжении экспериментатора имеются все новейшие технические средства, но как измерения, произведенные на судне, они должны быть признаны за образец высокого искусства экспериментатора. Результаты измерений он объясняет, исходя из представления о морском льде, как о системе, состоящей из чистого льда и вкрапленных в него капелек рассола. Зная концентрацию рассола при разных температурах, оказалось возможным вычислить как удельную теплоемкость, так и коэффициент теплового расширения льда, образовавшегося при различных условиях и поэтому заключающего в себе то или иное количество рассола. Вычисленные величины прекрасно совпали с найденными на опыте, благодаря чему представление о структуре льда получило надежную опору.

Еще больше чем за работы, выполненные самим Мальмгренем, экспедиция «Мод» обязана ему за множество идей, новых методов, оригинальных точек зрения, с которыми он подходил к решению различных проблем. И для меня лично его советы при обсуждении результатов моих наблюдений явились весьма ценными. Мальмгрен был истинным исследователем, одаренным большим талантом физика. Его рассуждения отличались строгой логичностью, несмотря на то, что, увлекаясь какой-либо новой идеей, он иногда склонен был поддаваться скороспелым выводам.

Всегда, при всех обстоятельствах, нам приятно было работать с Мальмгренем, обладавшим способностью рассудить и примирить людей. Не мало горячих споров возникало в маленькой лаборатории «Мод», но они никогда не приводили ни к каким неприятным последствиям, возможность которых не была исключена, в виду чрезвычайно длительного пребывания нашего маленького общества в такой тесноте.

«Мод» вернулась в Ситль в октябре 1925 г. и Мальмгрен отправился прямо в Швецию, через Норвегию. В это время Роальд Амундсен готовился к полету на «Норге» и искал метеоролога, который, помимо регулярных метеорологических наблюдений, мог бы заниматься прогнозами погоды на основании радиосводок. Мальмгрен с воодушевлением взялся за эту ответственную работу, к которой он был прекрасно подготовлен. После мимолетного посещения родного дома он направился в Берген, где провел около трех месяцев, знакомясь с бергенскими методами. В марте 1926 г. он прибыл в Рим и принял участие во всем полете «Норге» от Рима до Теллера, в Аляске. Во время полета он работал с капитаном Рисер-Ларсеном, управлявшим дирижаблем. Капитан Рисер-Ларсен остался в восторге от этой совместной работы с Мальмгренем, от его таланта метеоролога и предска-

теля погоды, и еще больше, пожалуй,—от его живости и тонкого чувства юмора, не покидавшего его даже в тревожные минуты.

Возвратившись из экспедиции «Норге», Мальмгрен приступил к обработке наблюдений на «Мод» и закончил свою работу о свойствах морского льда. В сентябре 1927 г. он получил за нее степень доктора и занял должность доцента в Упсальском университете.

Когда генерал Нобиле зимой 1927/28 г. готовился к экспедиции на дирижабле «Италия». Мальмгрен был им приглашен для участия в этой экспедиции в качестве метеоролога и предсказателя погоды. Мальмгрен, более чем кто другой, мог справиться с такими задачами; вместе с тем он охотно шел в экспедицию, намереваясь принести ей пользу своим опытом и своими познаниями. Мальмгрен вполне сознавал риск, на который он шел, но предполагал, что экспедиция начнется значительно раньше. Самым желательным сроком были бы конец апреля или начало мая, когда еще не начинают возникать опасные туманы и нет оснований бояться оледенения оболочки дирижабля. Его тревожили задержки, которые заставили отложить начало полета «Италии» до конца мая, и он неоднократно высказывал свои опасения.

Известие о трагической смерти Мальмгрена не было неожиданным для нас, близко его знавших. Мальмгрен был первым из добровольцев, вызвавшихся совершить опасный путь по льдам, чтобы призвать помощь товарищам,—это так соответствовало его духу. Когда мы узнали, что он вышел в поход, мы опасались последствий, так как Мальмгрен не обладал большой физической силой. Мы боялись самого худшего—и самое худшее случилось.

Мальмгрен погиб, самоотверженно стремясь подать помощь своим товарищам по кораблю в постигшем их несчастье.

Я оплакиваю потерю прекрасного товарища, искреннего друга, живость и бодрость которого служила для меня образцом в долгие годы совместного нашего пребывания на борту «Мод». Я скорблю также об утрате ученого, вложившего свои знания и свой дар во все труды экспедиции «Мод» и осветившего множество вопросов при обсуждении добытых результатов.

Я не одинок в моем горе—Мальмгрен оставил только друзей.

Г. У. Свердруп.

I. Введение.

Эта работа содержит результаты исследований, произведенных во время Норвежской экспедиции в Полярном море в 1922—1925 гг.

Летом 1922 г. экспедиция покинула Ситль на борту судна «Мод» и направилась в Полярное море через Берингов пролив. Мы намеревались проникнуть как можно дальше на север и там дать судну вмерзнуть в дрейфующие льды. Была надежда, что за три или четыре года льды пронесут судно через центральную часть Полярного моря в проливу между Гренландией и Шпицбергенем. Таким образом, мы надеялись, что экспедиция «Мод» с ее лучшим оборудованием будет в состоянии повторить чрезвычайно удачный дрейф «Фрама».

Однако эти надежды не оправдались, так как ледовые условия оказались очень неблагоприятными. С наступлением холодов, сделавших невозможным дальнейшее плавание, осенью 1922 г., судно достигло только $72^{\circ}20' N$ и $175^{\circ}25' W$. Там судно вмерзло во льды и почти два года следовало за ними, во всех их движениях. За это время судно дрейфовало преимущественно на WNW, до $\varphi = 76^{\circ}30' N$ и $L = 143^{\circ}15' E$.

Так как дрейф этот не сулил ничего доброго, то капитан Амундсен отозвал экспедицию весной 1924 г.

Летом 1924 г. была сделана попытка вернуться через Берингов пролив, — судно удалось освободиться из плавучих льдов и проделать часть обратного пути, но новые препятствия, обусловленные тяжелыми льдами, вынудили нас зимовать у Медвежьих островов, вблизи северных берегов Сибири. Следующим летом ледовые условия стали более благоприятными и «Мод» получила возможность вернуться к цивилизованному миру.

Из сказанного видно, что экспедиция «Мод» провела около трех лет в замерзшем Полярном море. Всюду вокруг судна простирались беспредельные льды самого разнородного характера. Вполне естественно, что при таких обстоятельствах мы много времени посвящали их изучению, тем более, что свойства морского льда, вообще говоря, еще мало известны. По предложению научного руководителя экспедиции, профессора Свердруп, мною были предприняты исследования удельного веса морского льда, его солености, характерных термических особенностей и т. д. В связи с этими исследованиями Свердруп предложил мне обработать и опубликовать также и некоторые регулярные наблюдения: температур льда и т. п., сделанные во время экспедиции преимущественно им самим.

Мне хочется воспользоваться настоящим случаем, чтобы выразить профессору Свердрупу мою искреннюю благодарность за живой интерес, с которым он относился к моей работе, и за ценное содействие, облегчавшее мои исследования во все время нашего пребывания на судне.

Впоследствии, заканчивая мою работу в У п с а л е, я получил в высокой степени ценную помощь от профессора Ф. Окерблома (F. Akerblom), директора метеорологической обсерватории в У п с а л е. Я особенно обязан профессору Окерблому за указания по литературе о полярных областях, — его знания здесь, кажется, неисчерпаемы.

II. Соли в морском льду.

Определение солёности льда.

Главное различие между морским и пресным льдом заключается в том, что в первом содержатся соли. Таким образом, если мы расплавим кусок морского льда и выпарим образовавшуюся воду, то получим твердый осадок различных солей, находившихся прежде во льду.

Мы определим солёность (S) куска морского льда, как вес в граммах всех твердых солей, полученных выпариванием воды, образовавшейся от таяния 1000 граммов льда. При этом мы должны, в согласии с определением солёности морской воды, данным Сёренсеном (S. P. L. Sørensen) и Мартином Кнудсеном (Martin Knudsen)¹⁾, заместить хлор эквивалентным количеством брома, превратить все карбонаты в окиси и нагревать осадок до тех пор, пока не будут сожжены всякие органические вещества.

Между солями в воде и во льду имеется несколько очень важных различий. Они должны быть упомянуты сейчас же, хотя впоследствии мы и займемся ими ближе.

Солёность морской воды—очень консервативное ее качество: вода долгое время сохраняет одну и ту же солёность, которая лишь медленно изменяется, например, вследствие осадков, испарения или перемешивания с водой другой солёности. Напротив, солёность льда может изменяться очень быстро. Кроме того общее количество солей в морской воде всегда складывается из одних и тех же составных частей, которые, в сущности, всегда находятся в одних и тех же отношениях. В морском же льду состав солей может меняться, но, как будет показано дальше, не в такой сильной степени, как это прежде утверждалось многими авторами (О. Петтерсон (O. Petterson) и др.).

Однако наиболее характерное различие связано с различием состояний, в которых соли существуют в воде и во льду. Морская вода представляет собой однородный раствор солей, а вследствие этого S будет одинакова, как бы ни было мало взятое количество воды. Это не так в случае льда. Здесь соли находятся в виде концентрированного рассола, заполняющего очень маленькие полости, распределенные в массе чистого льда (при низких температурах—также в виде маленьких кристаллов, встречающихся по всей толще льда). S является средней величиной солёности растаявшего куска льда. Для того чтобы эта средняя величина имела какое-нибудь реальное значение, вес образца, употребляемого для определения S, должен быть настолько велик, чтобы случайные изменения процентного содержания солей в отдельных частях льда не оказывали влияния на S: результат определения S должен быть характерным для исследованного льда.

¹⁾ Kongl. Danske Videnskabs selsk. skrifter, Bd. 12, 1902, p. 16; Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen herausg. von der koomm. z. Unters. d. Deutschen Meere in Kiel Bd. 6. Kiel 1902, p. 139.

Я пытался определить, как малы могут быть взяты пробы льда, чтобы получить еще хорошее значение S . С этой целью из внутренней части большой глыбы льда были взяты одна возле другой четыре пробы, каждая весом около 50 гр. Куски были расплавлены, и титрованием было определено процентное содержание хлора. Титрование дало следующие значения:

$$Cl = 1.98, 1.97, 1.96 \text{ и } 2.02\%$$

Раз количество хлора остается неизменным, S также должно быть постоянным, так как нет оснований, почему бы состав солей мог меняться в середине большой глыбы льда. Таким образом можно видеть, что для этого морского льда проба весом 50 гр. была достаточна для получения характерного значения S , если только было известно отношение хлора к полному количеству солей. Возможно, что и меньшие куски льда дали бы то же значение S , однако, вопрос все же не был бы решен; действительно, титрование на хлор довольно трудно для еще меньших количеств воды, полученной расплавлением льда с такой незначительной соленостью.

Влияние скорости замерзания и возраста на соленость морского льда.

После этих немногих слов об определении солености льда мы займемся некоторыми вопросами, стоящими в связи с присутствием солей в морском льду.

Объяснение присутствию во льду солей может быть найдено из рассмотрения явлений, происходящих во время процесса замерзания—процесса, изучавшегося ранее многими полярными исследователями.

При замерзании вначале образуется сплетение тонких удлинённых кристаллических игл. Это сплетение от нижней поверхности льда распространяется вниз в воду. Впоследствии начинает замерзать и морская вода, находящаяся между этими кристаллами. При замерзании она разделяется на чистый лед и концентрированный рассол. Последний благодаря своему высокому удельному весу склонен просачиваться через пористую массу кристаллов льда. Но так как эта масса становится все плотнее и плотнее, то вытекание рассола в конце-концов прекращается, и таким образом часть солей удерживается льдом.

Из сказанного видно, что, чем быстрее происходит замерзание, тем более соленым получается лед, так как благодаря этому рассол имеет в своем распоряжении меньше времени для вытекания. Это положение иллюстрируется следующими определениями солености различных видов морского льда, собранного в течение зимы 1923/24 г. Приводимые данные относятся ко льдам, образовавшимся из морской воды, одинаковой солености и в одинаковой приблизительно толщине (20 см.). Так как ветер и облачность во время замерзания были приблизительно одинаковы, то единственное разли-

чие было в температуре. При прочих равных условиях замерзание происходит, несомненно, всего быстрее при наиболее низкой температуре. Как и ожидалось, соленость образовавшегося льда возрастает с падением температуры.

Т А Б Л И Ц А 1.

Температура	Соленость, вычисленная	
	по титрованию на хлор, получено от таяния льда ‰	по определению удельн. веса пол. от таяния льда ‰
— 16°	5.64	—
— 28°	8.01	7.97
— 30°	8.77	8.67
— 40°	10.16	10.22

Высказанное положение, что соленость зависит от скорости, с которой происходит образование льда, иллюстрируется также следующей таблицей, которая показывает, что соленость является функцией глубины, считаемой от поверхности льда. Исследована была площадь нового льда, начавшего возникать в ноябре 1924 года; пробы были взяты в апреле 1925 года,— солености определены титрованием на хлор.

Т А Б Л И Ц А 2.

Расстояние от поверхности льда (см).	0	6	13	25	45	82	95
Соленость .	6.74	5.28	5.31	3.84	4.37	3.48	3.17

Эта таблица показывает, что соленость льда убывает по мере того, как мы идем вниз от поверхности,—в согласии с меньшей скоростью замерзания на больших глубинах. Низкая соленость на глубине 25 см. была вызвана, может быть, двумя теплыми днями, случившимися вскоре после того, как лед начал возникать. Подобные же результаты были получены К. Вейпрехтом (K. Weyprecht) ¹⁾ во время дрейфа «Тегетгофа». Исследовалась глыба нового льда, образовавшегося при — 33°. Толщина льда была 19 см. Первые 5 см. показали соленость 25‰, следующие 9 см. — 13‰ и последние 5 см.—12‰. Пробы были взяты спустя только 60 часов после начала замерзания. Этим и объясняется большое содержание солей. «Соленость» для самых верхних 5 см. льда включала в себя некоторое количество твердой

¹⁾ Weyprecht, K. Die Metamorphosen des Polareises. Wien 1879.

«соли», лежавшей на поверхности льда. В Полярном море такая твердая «соль» всегда встречается на поверхности льда, когда открытая вода замерзает при очень низких температурах. «Соль» может образоваться в таком большом количестве, что молодой лед выглядит как лужайка, покрытая утренним инеем. По Вейпрехту (K. Weyprecht) «соль», однако, не является чистой: она состоит из тонких ледяных игл, несущих на своих остриях маленькие кристаллики соли.

Соленость куска морского льда зависит не только от скорости заморозания. Другим важным обстоятельством является возраст льда: чем старше лед, тем меньше он содержит соли.

Главным образом летом, но также и весной, лед медленно теряет много своих солей. Так как температура возрастает, соляной рассол, находящийся между кристаллами льда, поглощает воду и пытается найти выход из льда, теперь уже более пористого. До какой степени, действительно, порист лед в летнее время, показывает один случай во время экспедиции «Мод». 30 мая 1924 г. мы захотели взять на борт один из ледовых термометров. С этой целью во льду было сделано углубление в метр глубиной и площадью около половины квадратного метра. На льду воды по близости не было, однако, на следующий же день углубление целиком было заполнено жидкостью, которая при ближайшем исследовании оказалась рассолом со значительно более высокой соленостью, чем сам лед. Соленость рассола была 51‰, морской воды—28‰, а соленость льда только 3‰ (все найдено титрованием на хлор). Этот рассол, несомненно, пришел из внутренности льда, окружавшего углубление, и струился со стенок в таких больших количествах, что заполнил его в течение одного дня.

Нисходящее движение рассола из морского льда в летнее время часто имеет результатом полное опреснение самых высоких частей торосистого льда, так что позднее их можно употреблять для получения питьевой воды. Кроме того лужи талой воды, образующиеся летом на больших глыбах старого льда—т. е. льда, который просуществовал, по крайней мере, одно целое лето—могут быть совершенно свободны от соли, как это часто наблюдалось путешественниками и тюленепромышленниками. Лучшая питьевая вода, достижимая зимой, получается растаиванием льда из таких луж.

Состав солей в морском льду.

Морской лед образуется вследствие заморозания морской воды; это значит, что соли, находящиеся в морском льду, должны были прежде находиться в морской воде. При этом возникают следующие вопросы: все ли соли, находящиеся в воде, находятся и во льду, и — одинаково ли в обоих случаях процентное содержание различных солей?

Прежде чем обратиться к этим вопросам, рассмотрим, что происходит, когда замерзает разбавленный раствор солей. Вначале мы возьмем разбав-