

М. П. ГОЛОВКОВ

О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ ЛЬДА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ОБЛЕДЕНИИ САМОЛЕТА

(Представлено академиком А. Е. Ферсманом)

В статье приводятся итоги проведенного автором исследования льда, образующегося при обледенении самолетов.

Отрицательное значение обледенения воздушных судов хорошо известно не только специалистам авиации, но и широким массам. Об этом не раз отмечалось в общей печати и специальной литературе. Оба исторических полета Героя Советского Союза В. П. Чкалова (по Сталинскому маршруту и через Северный полюс), полет через Северный полюс Героя Советского Союза М. М. Громова, наконец, полет Москва—Дальний Восток Героя Советского Союза В. С. Гризодубовой в значительной степени осложнялись обледенением самолетов в воздухе, как это отмечалось в прессе самими командирами и штурманами кораблей.

Иногда обледенения самолетов бывают столь сильными, что приводят к катастрофам. Так, гибель воздушной экспедиции Героя Советского Союза С. А. Лезаневского, если исходить из соображений известного полярного летчика Б. Г. Чухновского, связана в конечном счете с обледенением [1]. Таким образом, с этой точки зрения, вполне прав Герой Советского Союза С. А. Данилин, назвавший обледенение „бичем полярной авиации“ (речь на митинге в Ленинграде после возвращения из США).

Не останавливаясь на физико-химических условиях кристаллизации льда, облегающего самолет во время полетов, ибо эти условия, повидимому, достаточно изучены [2], отмечу, что вполне надежного и рационального способа борьбы с обледенением в настоящее время, по всей вероятности, еще нет. Этот вывод можно сделать не только на основании популярной [3], но и специальной [4] литературы.

Такое положение вполне понятно, ибо изучение вопроса обледенения воздушных судов, равно как и проблемы льда в мореплавании, ведется слишком односторонне. В этом направлении изучаются вопросы гидрологии и метеорологии применительно к морской и воздушной навигации, основной же объект — лед, морской и „воздушный“, т. е. образующийся в воздухе, остается совершенно без всякого внимания.

В отношении морского и вообще покровного льда мною частично уже показано значение непосредственного его изучения [5]. Целью данной статьи является показать возможное значение исследования льда, образующегося при обледенении самолетов.

Результаты исследования

Форма обрастания льдом деталей самолета хорошо известна летчикам и, повидимому, достаточно охарактеризована в литературе [4]. Однако эти данные, несмотря на их полноту, достаточную, может быть, для учета влия-

ния льда на аэродинамические свойства машины, являются слишком общими с точки зрения существа вопроса обледенения.

Известно также, что лед, образующийся при обледенении самолетов, бывает обычно двух текстур: а) сильно пористый, ветвистый, непрочный, т. е. инееобразный, и б) плотный, прочный, т. е. массивный [4]. Данные исследования заранее были ориентированы на лед последнего вида, так как лед первого вида в практическом отношении представляет меньший интерес.

Для исследования был предоставлен лед, добытый с обледеневших самолетов *N*-ского летного отряда. Лед имел вид обломков различной, обычно выпукло-вогнутой формы, соответственно форме покрывавшихся ими деталей (сферические, цилиндрические и т. п.). Толщина слоя льда, считая перпендикулярно поверхности нарастания, колебалась в разных образцах от 5 до 20 мм. Характерно, что из имевшихся образцов наибольшую толщину имели наросты льда с цилиндрических деталей, обладающих наибольшей кривизной. Является ли такое нарастание льда постоянным или случайным — сказать трудно. Все цилиндрические куски имели такую величину, что покрывали, повидимому, меньше половины цилиндрической поверхности (в смысле окружения), точно так же как сферические куски покрывали меньше половины сферических поверхностей на деталях. Является ли постоянным то, что наибольшему восприятию обледенения подвержены преимущественно лобовые или передние поверхности частей самолета, или же это явление случайно, — вопрос, который не мог быть разрешен в процессе данной работы.

На вогнутой стороне образцов обычно имеются тонкие отпечатки особенностей той поверхности, на которой лед возникает (резьба болтов, формы гаек, переходы кривизны и т. п.).

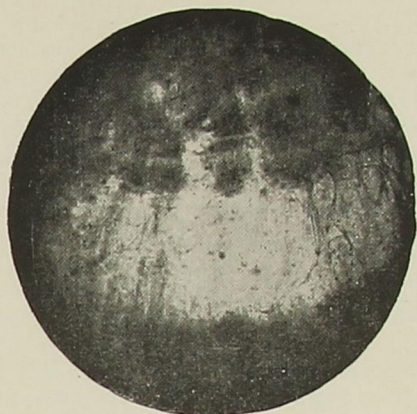
Цвет льда довольно характерен: грязновато-белый с желтоватым оттенком.

Удельный вес в разных агрегатах колебался от 0,7469 до 0,9515, что также является показательным (см. таблицу). Удельный вес определялся для образцов льда с ненарушенной структурой.

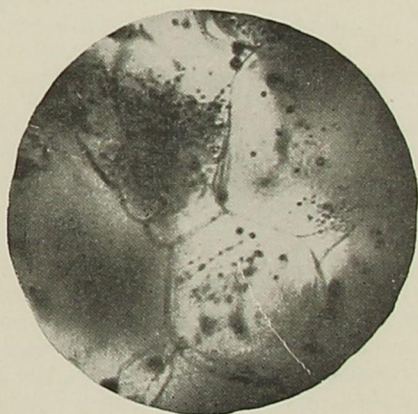
Общие сведения о генезисе льда	Удельный вес
1. Лед вообще (классическое определение уд. веса, повидимому, относящееся к „твердой фазе“) — по Бунзену [9]	0,91676
2. Лед Финского залива, у Ораниенбаума — по Розену [10]	0,870—0,912
3. Лед ископаемый, с р. Березовки (место находки мамонта) — по Толмачеву [11]	0,795—0,878
4. Лед фирновый [12]	0,85
5. Лед глетчерный [12]	0,88—0,91
6. Лед полярный — по Макарову [13]	0,912—0,936
7. Лед обледенения самолетов	0,747—0,951

Особенность механической прочности (по исследованиям без специальных приборов) сводится к тому, что при температуре ниже 0°C лед обладает некоторой хрупкостью и сравнительно легко разрушается особенно в направлениях, перпендикулярных поверхности его нарастания; при температуре несколько выше 0°C (в некотором пределе) эта хрупкость заметно уменьшается, лед становится как бы тягучим или более пластичным и разрушается значительно трудней.

Текстура, т. е. внешний вид строения, в данном случае характеризуется тем, что лед представляет собою плотное непрозрачное образование,



Фиг. 1. Лед, образующийся при обледенении самолетов. Шлиф. Сечение в плоскости, перпендикулярной к поверхности нарастания льда, т. е. к обледеневающей поверхности. Видна зональность и радиально-лучистый характер структуры. Виден также габитус кристаллов, составляющих кору обледенения. (Микрофотография. Проходящий свет. Увеличение ок. 20)



Фиг. 2. Лед, образующийся при обледенении самолетов. Шлиф. Сечение в плоскости, параллельной поверхности нарастания льда, т. е. плоскости, перпендикулярной к оптической оси кристаллов (см. фиг. 1). Видна некоторая степень идиоморфизма (субгедральность) кристаллов льда и характер распределения пузырьков воздуха и механических включений. (Микрофотография. Проходящий свет. Увеличение ок. 50)

имеющее вид кремня или какого-либо оплавленного (остеклованного) минерального тела. Текстура этого льда не отвечает ни скрытозернистой [6], текстуре покровного (речного, морского) льда (так как видимая „массивность“ его не сопровождается прозрачностью), ни зернистой текстуре, так как „зернистость“ его простым глазом не обнаруживается. В петрографии текстуру тел такого характера называют стекловатой, или афанитовой [7].

Исследование структуры, т. е. внутреннего строения, производилось кристалло-петрографическим методом с помощью поляризационного микроскопа.

Для исследования структуры из разных образцов льда приготавливались „шлифы“, т. е. плоскопараллельные пластинки, толщиной от 5 до 0,5 мм. Шлифы брались в различных направлениях; наиболее характерные картины дают сечения в плоскостях, перпендикулярной и параллельной по отношению к поверхности обледенения.

А. Сечение в плоскости, перпендикулярной к поверхности обледенения, обнаруживает следующие особенности.

1. Лед обледенения имеет зональный характер, т. е. состоит из послойно налегающих друг на друга чередующихся зон различной толщины со скрытозернистой текстурой (массивный, прозрачный лед) и афанитовой текстурой (стекловатый, непрозрачный лед). Эта зональность видна не только под микроскопом, но иногда и невооруженным глазом (фиг. 1).

2. Каждая зона состоит из сильно удлиненных по направлению оптической оси кристаллов льда (в данном случае параллельно оси N_g — положительное удлинение). В этом, т. е. параллельном оптической оси, сечении кристаллы имеют веретенообразную форму, слегка притупленную на обоих концах пинакоидами, слабо и обычно неодинаково развитыми.

3. Величина кристаллов различна и колеблется от $0,6 \times 0,1$ до $1,7 \times 0,4$ мм. Более крупные кристаллы составляют зоны льда со скрытозернистой текстурой; более мелкие кристаллы составляют зоны льда с афанитовой текстурой.

4. Все кристаллы, независимо от принадлежности их к той или иной зоне, ориентированы идентично — оптическими осями перпендикулярно той поверхности, на которой они возникают. Так как поверхности обледенения, т. е. внешние поверхности различных деталей самолета, обычно имеют некоторую кривизну, то благодаря такому расположению отдельных кристаллов получается веерообразное их сочетание, и в результате весь лед приобретает радиально-лучистую структуру [7] (фиг. 1).

5. Сочетания наиболее мелких кристаллов, т. е. зоны с афанитовой текстурой, содержат множество мельчайших пузырьков воздуха, тогда как в зонах со скрытозернистой текстурой количество пузырьков значительно меньше, и размеры их обычно больше. Этим, повидимому, и обуславливается непрозрачность афанитовых зон не только при наблюдении невооруженным глазом, но и под микроскопом (фиг. 1).

6. Кроме пузырьков воздуха во всех шлифах этого сечения, независимо от зон, наблюдаются твердые механические тонкозернистые включения, представляющие собою, повидимому, атмосферную пыль различного генезиса. Особых закономерностей распределения этих включений в данном сечении не наблюдается. В некоторых образцах наличие подобных включений так велико, что обнаруживается и невооруженным глазом.

Б. Сечение в плоскости, параллельной поверхности обледенения, обнаруживает следующие особенности.

1. Шлифы, взятые из различных зон, проявляют то скрытозернистую, то афанитовую текстуру льда. Это подтверждает отмеченную выше зональность и объясняет непрозрачность льда при его общем осмотре, так как общий вид льда отвечает именно этой поверхности, являющейся поверхностью наибольшего его протяжения.

2. Все кристаллы, независимо от зоны, при коноскопическом исследовании дают интерференционную фигуру, свойственную оптически одноосным положительным кристаллам в разрезе, перпендикулярном к оптической оси. Это подтверждает вышеприведенные данные о характере ориентировки кристаллов относительно поверхности обледенения (см. А. 4).

3. Большинство кристаллов в сечении, перпендикулярном к оптической оси (главной оси симметрии), являются субгедральными, т. е. обладающими хотя и неполным, но характерным ограничением, близким, повидимому, к гексагональному (фиг. 2). Такое свойство весьма существенно, так как этим структура данного льда резко отличается от льдов другого происхождения [8].

4. Характер распределения твердых механических включений в общих чертах заключается в том, что основное количество их находится, повидимому, внутри тех или иных кристаллов. Однако на ряду с кристаллическими индивидами, содержащими включения в значительном количестве, наблюдаются кристаллы, почти не содержащие их. Некоторое количество механических включений располагается также и между кристаллами (фиг. 2).

Приведенные результаты исследования, во-первых, показывают, что внешние и физические свойства льда, возникающего на воздушных судах, обуславливаются его структурой, а во-вторых, позволяют сделать некоторые выводы, касающиеся обледенения вообще.

Цвет льда и „стекловатый“ вид его (афанитовая текстура) обусловлены мелкозернистым характером структуры и наличием твердых и газообразных механических включений.

Высокий удельный вес льда обледенения сравнительно с удельным весом льдов другого происхождения (см. таблицу) также вполне объясняется особенностями структуры. В самом деле, мелкозернистость и идентичность ориентировки кристаллов обуславливают общую уплотненность ледяной коры, а обилие твердых механических включений создает прямое увеличение веса единицы объема. Следовательно удельный вес льда обледенения заслуживает особого технического внимания, и вопрос о включениях в связи с этим требует специальных исследований (их взаимоотношение со льдом, характер распределения, происхождение [14] и пр. *).

Наблюдаемое увеличение прочности льда с повышением температуры от 0°С в некотором пределе, равно как и противоположное явление с понижением ее, обуславливается радиально-лучистой структурой льда, создающей постоянство распределения и ориентировки сил сцепления в нем. При случайном и беспорядочном взаиморасположении составляющих кристаллов проявление этой силы должно быть, повидимому, иное.

Зональность ледяной коры есть следствие изменения или колебания физико-химических условий образования льда (обледенения). Так как разные зоны льда обладают различными физическими и механическими свойствами, то необходимы детальные исследования зависимости характера структуры зон от особенностей условий обледенения. Это даст возможность сделать прямые практические выводы для определенных случаев аэронавигации.

Радиально-лучистая структура льда, выражающаяся в данном случае в удлинении кристаллов по направлению оптической оси и в постоянстве ориентировки этой оси всех кристаллов перпендикулярно поверхностям

* Вопрос о бактериальности этого льда, повидимому, также представляет некоторый интерес.

обледеневаемых деталей самолета, говорит об образовании ледяной коры за счет роста кристаллов преимущественно в одном кристаллографическом направлении (по крайней мере в некотором пределе). Это обстоятельство, повидимому, может послужить основой для разработки новых методов предотвращения обледенения.

Выводы

1. Установлено, что лед, образующийся при обледенении самолетов, состоит из субгидральных кристаллов и имеет афанитовую текстуру и радиально-лучистую структуру.

2. Установлено наличие значительного количества твердых механических включений во льду (частицы пыли и пр.).

3. Характер структуры и наличие механических включений обуславливают высокий удельный вес льда обледенения, колеблющийся от 0,74 до 0,95.

4. Особенность структуры обуславливает специфическую зависимость прочности льда обледенения от колебания температуры.

Гос. оптический институт
Ленинград

Получено
28.X.1939

ЛИТЕРАТУРА

1. Чухновский Б. Г., К поискам самолета тов. Леваневского, Ленинградская правда, 4 окт. 1937.
2. Москатов К., Борьба с обледенением самолетов, Техника, № 70, 27 июля 1935.
3. Комбриг В. Чкалов, Герой Советского Союза, Наш отец, Изв. Сов. деп. труд. СССР, № 193, 18 авг. 1938.
4. Беденкин Н. И., Гальцов А. Н., Фомин А. П., Хргиан А. Х., Обледенение воздушных судов, изд. Аэрограф. и-та ГВФ, 1938.
5. Головков М. П., Заметка о структуре и морфологических особенностях кристаллов льда. Зап. Рос. мин. о-ва, т. LXVIII, № 2 (1939).
6. Головков М. П., К вопросу о структуре льда Карского моря, Уч. зап. ЛГУ, № 16 (1937).
7. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. и Струве Э. А., Петрографический словарь, ОНТИ, 1937.
8. Головков М. П., Исследование льда Кунгурской пещеры, Уч. зап. ЛГУ, № 21, вып. 5 (1939).
9. Барнес Х., Ледотехника, перев. с англ., ОНТИ, 1934.
10. Розен М. Ф., Плотность льда Невской губы у Ораниенбаума, Изв. Центр. гидромет. бюро, в. VIII, Лгр. (1929).
11. Толмачев И. П., Почвенный лед с р. Березовки, Научные результаты экспедиции Академии Наук для раскопки мамонта, СПб., 1903.
12. Калесник С. В., Общая гляциология, 1939.
13. Макаров С., "Ермак" во льдах, 1901.
14. Вернадский В., акад., О задачах исследования льда арктической области, Докл. Ак. Н. СССР, XIX, 1939, № 8.

M. GOLOVKOV, INVESTIGATION OF ICE FORMED ON THE AIRPLANES

SUMMARY

The ice formed on airplanes consists of subhedral crystals and has an aphanitic texture and radial structure. A considerable quantity of solid mechanical inclusions is observed in such ice (particles of dust etc.).

The character of structure and the presence of mechanical inclusions cause a high specific gravity of the ice covering the airplanes which changes from 0,74 to 0,95.

The peculiar features of the structure cause also a specific dependence of durability of the covering ice of the changes of temperature.