



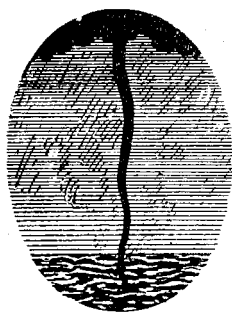
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА

---

*А. Д. Заморский*



АТМОСФЕРНЫЕ  
ЯВЛЕНИЯ



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

---

ЛЕНИНГРАД • 1954

## ВВЕДЕНИЕ

Воздушная оболочка, окружающая земной шар, называется *атмосферой*. Она имеет сложный состав и строение, и в ней происходят различные физические процессы, из которых одни наблюдаются часто, как например выпадение дождя осенью или снега зимой, другие происходят реже, как например гроза, выпадение града, появление радуги.

Наука, которая изучает воздушную оболочку земли и все происходящие в ней процессы, называется *метеорологией*. Метеорология изучает все атмосферные явления в их взаимосвязи и в их взаимодействии с поверхностью земли — с сушей и морем.

Атмосферные явления бесконечны в своем разнообразии. Описать их все в небольшой книжке нельзя. Наша задача — ознакомить читателя только с теми атмосферными явлениями, которые наблюдаются метеорологами без помощи приборов и изучать которые может каждый любитель природы.

Наблюдатели метеорологических станций в своей работе пользуются Наставлением гидрометеорологическим станциям, где очень кратко даны определения различных атмосферных явлений. Выполнение указаний Наставления необходимо для того, чтобы наблюдения были однородны и сравнимы между собой как во времени, так и в пространстве.

Цель научно-популярной книги более широкая. Предлагаемая брошюра может не ограничиваться рамками официальной инструкции. Поэтому в брошюре дано более подробное описание атмосферных явлений, в некоторых случаях вводятся новые термины или уточняются старые. Все это дает возможность более глубоко вникать в причины и сущность явлений.

Одни из атмосферных явлений приносят вред или пользу. Например, град приносит вред, весенний дождь — пользу. Другие явления, как например радуга, венцы вокруг светил, дают возможность судить о процессах, происходящих в атмосфере. Поэтому каждому любителю природы интересно иметь четкое представление о наиболее существенных, проверенных признаках различных атмосферных явлений.

В предлагаемой брошюре, наряду с объяснением физических причин, вызывающих те или другие атмосферные явления, даются также и краткие указания на отличительные признаки иногда сходных по внешности явлений. Автор надеется, что это поможет

любителю природы разобраться в атмосферных явлениях, определить их вид и физическую природу.

Некоторые атмосферные явления для нас обычны. Таковы дождь, ветер, град. Однако в некоторых случаях эти явления достигают такой силы, «какой и деда не помнят», или получают такие особенности, которые им обычно несвойственны. Подобные явления называются *необычайными*. Например, для условий Ленинградской области обычный летний ливень дает слой воды высотой 10 мм. В отдельные годы за один ливень выпадало более 50 мм слоя воды, что приводило к затоплению ряда местностей и вызывало целый ряд разрушений. Такой редкий и крайне интенсивный дождь и является здесь необычайным. В других местах, например в Батуми на Черном море, ливни подобной интенсивности — обычное явление.

На территории Советского Союза изредка наблюдается выпадение вместе с дождем различных водяных животных: рыб, лягушек. Подобные «рыбные» и «лягушечьи» дожди — явление необычайное. Однако есть места на земном шаре, где они обычны. Так, на побережье Карибского моря в Центральной Америке рыбные дожди наблюдаются ежегодно.

Столь же необычайными и вместе с тем легко объяснимыми являются красный снег и дождь, розовая изморозь, взрывчатые градины, сложный рисунок из переплетающихся кругов на фоне тусклого неба или бесшумные вспышки голубоватого пламени при метели.

Одна из задач настоящей брошюры состоит в выяснении физических причин как обычных, так и необычайных явлений погоды и их соотношения друг с другом.

## МНОГООБРАЗИЕ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Атмосферные явления крайне разнообразны. Одни отличаются от других очень резко. Нельзя не различить дождь от снега. Но есть явления, лишь незначительно отличающиеся друг от друга. Даже специалисту-метеорологу не всегда удается различить обложной дождь от ливневого.

Вода в атмосфере встречается в газообразном, жидком и твердом состоянии. В газообразном состоянии вода невидима. В жидком состоянии вода дает ряд явлений, из которых широко известны роса, дождь, туман, радуга и др. В твердом состоянии вода дает другой ряд явлений, связанных со льдом, — иней, снег, ледяной туман.

Чтобы помочь читателю разобраться в массе рассматриваемых нами атмосферных явлений, как резко отличающихся друг от друга, так и сходных между собой, мы расположили их в определенном порядке, сообразно их метеорологической сущности.

Все атмосферные явления разделены нами на шесть *групп*. Первые две группы включают в себя явления, связанные с обра-

зованием на наземных предметах отложений воды и льда или выпадением из атмосферы различного вида осадков. Третья группа объединяет явления, вызывающие помутнение воздуха и ухудшение в нем видимости. В четвертую группу входят явления, связанные с сильными ветрами. Пятую и шестую группы составляют оптические и электрические явления.

Каждая группа состоит из нескольких *классов* атмосферных явлений, каждый класс — из нескольких *видов*. Например, группа явлений помутнения воздуха включает в себя пять классов: туман, дымка, ледяные кристаллы в воздухе, метель и пыль. В свою очередь, класс тумана включает в себя пять видов туманов: радиационный, адвективный, испарения, сибирский и адиабатический.

Таковы основные черты классификации атмосферных явлений, которые легли в основу изложения материала данной брошюры. Для общего предварительного ознакомления с предлагаемой классификацией приведена табл. 1, в которой в определенном порядке перечислены все явления, рассматриваемые в нашей брошюре.

Таблица 1

### Классификация атмосферных явлений

#### I. Отложения воды и льда, возникающие на поверхности земли и на наземных предметах

##### А. Водяные отложения

1. Роса. 2. Жидкий налет. 3. Наморось (оседание капель тумана).
4. Вода растаявшего инея

##### Б. Ледяные отложения (обледенение)

5. Иней. 6. Инейевые цветы. 7. Кристаллический налет. 8. Ледяной налет. 9. Кристаллическая изморозь. 10. Зернистая изморозь. 11. Гололед. 12. Замерзшие капли дождя и росы. 13. Отложение мокрого снега (налепль). 14. Замерзшее отложение мокрого снега (замерзшая налепль)

#### II. Осадки из воды и льда, выпадающие на земную поверхность

##### А. Водяные осадки

Осадки при положительной температуре воздуха

15. Морось. 16. Дождь обложной. 17. Дождь ливневой

Осадки при отрицательной температуре воздуха

18. Морось при морозе. 19. Дождь при морозе

##### Б. Ледяные осадки

20. Обложной снег. 21. Ливневой снег. 22. Снег без облаков. 23. Снежные зерна. 24. Снежная крупа. 25. Ледяная крупа. 26. Град. 27. Оледенелый снег. 28. Замерзший дождь

### III. Помутнения воздуха

#### А. Водяная взвесь

29. Туман радиационный. 30. Туман адвективный. 31. Туман испарения.  
32. Туман сибирский. 33. Туман адиабатический. 34. Туманная дымка.  
35. Незамутненный воздух

#### Б. Ледяная взвесь

36. Ледяная пыль (ледяные иглы). 37. Ледяная дымка. 38. Ледяной туман. 39. Метель общая: 40. Метель низовая. 41. Поземок

#### В. Минеральная взвесь

42. Пыль или дым плотные. 43. Пылевой поземок. 44. Пылевая или дымная мгла

### IV. Бури и смерчи

45. Буря. 46. Шквал. 47. Вихрь. 48. Смерч

### V. Оптические явления

- #### А. Оптические явления, вызванные наличием в атмосфере капель воды
49. Радуга. 50. Венец около солнца или луны

- #### Б. Оптические явления, вызванные наличием в атмосфере ледяных кристаллов

51. Гало вокруг солнца или луны

- #### В. Другие оптические явления

52. Миражи

### VI. Электрические явления

53. Гроза близкая. 54. Гроза отдаленная. 55. Зарница. 56. Свечение воздуха. 57. Полярное сияние

## КАК ПАР ПРЕВРАЩАЕТСЯ В ВОДУ

В составе атмосферного воздуха всегда находится водяной пар, представляющий собой невидимый газ. Как всякий газ, водяной пар при охлаждении может становиться жидким, превращаться в мельчайшие капельки (рис. 1). В этом случае мы наблюдаем туман или облако. При данной температуре в воздухе может находиться количество пара, не превышающее определенного предела. Эта граница предельного количества водяного пара быстро увеличивается с повышением температуры. Таблица 2 дает представление о предельном количестве пара, которое может содержаться в одном кубическом метре воздуха в зависимости от температуры.

Таблица 2

Зависимость предельного количества водяного пара от температуры

Температура (в град.) . . . . .	-40	-20	0	20	40
Количество пара (в г/м <sup>3</sup> ) . . . . .	0,2	1,1	4,9	17,3	51,1

Если в данном объеме воздуха окажется водяного пара больше, чем его может находиться в газообразном состоянии, то излишек пара выделится в виде воды. Например, пусть воздух имеет температуру  $1^{\circ}$ . Для насыщения  $1 \text{ м}^3$  воздуха при этой температуре потребуется  $5,2 \text{ г}$  водяного пара. Пусть этот воздух охладится на  $1^{\circ}$ , т. е. приобретет температуру  $0^{\circ}$ . При этой температуре в  $1 \text{ м}^3$  может содержаться только  $4,9 \text{ г}$  водяного пара.

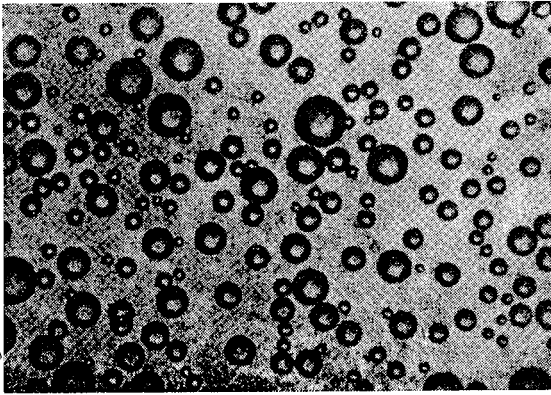


Рис. 1. Капли тумана при увеличении в 500 раз.

Правда, воздух объемом в  $1 \text{ м}^3$ , охлаждаясь на  $1^{\circ}$ , займет несколько меньший объем. Поэтому только приблизительно можно считать, что при охлаждении выделится излишек пара в  $0,3 \text{ г}$ , который перейдет в капельки воды: туман, росу и т. п. Таким образом, при охлаждении насыщенного паром воздуха из него всегда может выделяться избыточная влага.

Охлаждение воздуха, а следовательно, и пара, находящегося в нем, ниже температуры насыщения происходит по разным причинам. В ясную ночь земля теряет тепло путем излучения и воздух у земли охлаждается. Воздушные массы перемещаются из одних географических районов в другие. При этом если воздух приходит в более холодную область, то он охлаждается. Если воздух поднимается вверх, то, попадая в слой с меньшим давлением, он расширяется и при этом охлаждается.

В некоторых случаях воздух охлаждается также и от соприкосновения с более холодными предметами. При всех этих процессах охлаждения происходит выделение излишков пара в виде мельчайших капель воды.

## ОТЛОЖЕНИЕ ВОДЫ НА НАЗЕМНЫХ ПРЕДМЕТАХ

Капельки воды отлагаются на наземных предметах тремя путями. Во-первых, они образуются путем конденсации на этих предметах пара из прилежащих слоев воздуха. Во-вторых, капли тумана механически оседают на поверхности предметов. В-третьих, капли воды на предметах возникают при таянии ледяных отложений (иней, изморозь и т. п.) во время потепления воздуха.

Большое значение, например, для сельского хозяйства имеет вода, образующаяся при таянии инея. Эта вода, как и роса, затрудняет комбайновую уборку хлеба, способствует загниванию коробочек хлопчатника в северных районах его разведения. Вода растаявшего инея может быть отнесена к числу самостоятельных метеорологических явлений.

Талая вода, образующаяся при таянии снежного покрова, представляет собой наземное явление, а не атмосферное и поэтому здесь не рассматривается.

## РОСА

Вряд ли кто не любовался блеском капель росы в лучах утреннего солнца. Росе посвящены поговорки, пословицы и народные загадки. «Роса мочит по зорям, дождь — по порам», — здесь народная мудрость точно огметила связь росы с ясным небом, когда бывает видна заря, и неуловимую капризность выпадения дождя.

Несмотря на кажущуюся простоту, роса до наших дней еще полностью не изучена. Вплоть до середины прошлого века росу неправильно объясняли «выпадением» воды из воздуха при ясном небе, подобно выпадению дождя при пасмурном небе. Несколько ранее росу считали изливанием звезд, так как она бывает только после звездных ночей. Великий русский поэт М. Ю. Лермонтов в своих бессмертных стихах отразил общепринятое в его время (но неверное) объяснение образования росы выпадением с неба:

Так светлой каплею роса,  
Оставя край свой, небеса,  
На лист увядший упадает,  
Блестая райским жемчугом.



Красочное описание росы имеется у многих поэтов и писателей. Таковы, например, стихи великого английского поэта В. Шекспира:

А вот и Феб в пурпуровой одежде  
Спешит на холм по жемчугу росы.

Роса образуется в тихую ясную погоду, когда земная поверхность и все находящиеся на ней предметы начинают охлаждаться благодаря излучению. От охлажденной поверхности почвы начинают охлаждаться и прилегающие к почве слои воздуха. Содержащийся в этих слоях водяной пар все больше приближается к состоянию насыщения и, когда поверхность земли и наземных предметов охладится до точки росы (точкой росы называется та температура, при которой пар, находящийся в воздухе, начинает конденсироваться), пар в виде мельчайших капелек начнет на них осаждаться. Мелкие капельки сливаются между собой и образуют более крупные капли, которые и дают росу. Роса возникает не в воздухе над земной поверхностью, а в месте соприкосновения воздуха с этой поверхностью. Таким образом, основным условием образования росы является сильное выхолаживание поверхности почвы и наземных предметов, воздух же над почвой охлажден меньше и может быть даже не насыщен паром.

Роса осаждается преимущественно на горизонтальных поверхностях почвы, растений и наземных предметов. На тонких сучьях деревьев, на тонких нитях высоко над почвой вследствие их малого охлаждения росы не бывает.

Условия погоды, при которых особенно часто образуется роса, это ясное небо или высокие тонкие облака и слабый ветер, который приносит к охлажденной поверхности новые слои воздуха и уносит те, из которых излишек пара уже выделился. Роса возникает в небольших количествах и при небольшой или переменной плотной облачности.

Низкие влажные места более благоприятны для образования росы, чем высокие сухие. Больше всего росы выпадает в начале осени, когда ночи удлиняются, что благоприятно для сильного охлаждения земной поверхности, а воздух еще теплый и поэтому содержит много водяного пара.

Росу можно не только наблюдать, но и измерять, т. е. измерять то количество воды, которое получилось от выпадения росы. Это измерение производят с помощью выставляемых на ночь пластинок, которые взвешивают до и после отложения на них росы.

### ЖИДКИЙ НАЛЕТ

Осенью и весной, иногда и зимой, когда после холодной погоды наступает потепление и подует влажный теплый ветер, на каменных стенах и других медленно прогреваемых предметах образуется пленка воды. Это *жидкий налет*. Дождя, даже слабого, нет. Нет и тумана. А пасмурное небо препятствует образо-

ванию росы. Влага на массивных предметах возникает вследствие конденсации пара на охлажденной ниже точки росы поверхности предмета.

Пасмурное небо не влияет на образование жидкого налета. Оно только сопровождает его образование, так как осенью потепление часто сопровождается сплошной облачностью и низкие слоистые облака бывают при высокой относительной влажности воздуха у земли.

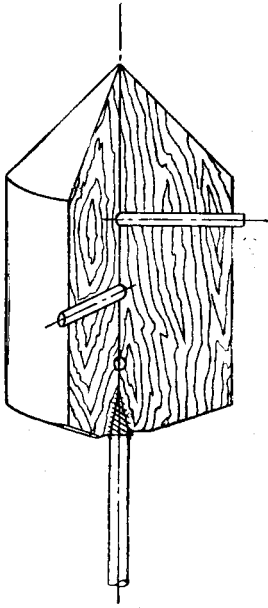


Рис. 2. Прибор для наблюдения жидкого и твердого налета. На рисунке показана удаленная часть деревянного цилиндра и обнажены вбитые в него железные стерженьки, немного выступающие наружу.

Ветер тоже не играет большой роли. Он только сопровождает сильное потепление, которое осуществляется при бурных вторжениях теплого воздуха. Поэтому в некоторых случаях жидкий налет может возникнуть и без большого ветра. На предметах в затишье он образуется не хуже, чем на ветру.

В ясную погоду жидкий налет может возникнуть и днем и ночью, причём днем — на теневых частях предметов, где солнце не прогревает и не обсушивает их. Ясной ночью жидкий налет может возникать при ветре, что отличает его от росы. В тихую же ясную погоду он возникает одновременно с росой. Роса осаждается на верхней поверхности предметов, а налет — на любой стороне, но только массивного предмета.

Жидкий налет можно наблюдать и на специальном приборчике. Не нужно брать большой камень или строить кирпичную стену; достаточно иметь глубоко вбитый толстый гвоздь в большое полено или бревно (рис. 2). Охлажденное за предшествующие дни дерево долго таит в себе холод. Гвоздь принимает низкую температуру сердцевины дерева и конденсирует на себе пар.

#### НАМОРОСЬ (ОСЕДАНИЕ КАПЕЛЬ ТУМАНА)

Природа неисчерпаема. Человек с каждым годом открывает и изучает все новые ее явления. Крупные капли тумана оседают на поверхности предметов, на траве, на ветвях дерева и отсюда стекают на почву и увлажняют ее. Чем сильнее ветер и чем более обветриваема часть предмета, тем больше капель тумана оседает на ней.

Ученые подсчитали, что в местностях с ветрами и частыми туманами с деревьев при тумане поступает на почву больше воды, чем ее выпадает в виде дождя.

Капельная влага тумана, образующая пленку воды на предметах, еще не имеет общепринятого названия. Ее называли смачивающим туманом, что неверно, так как это уже не туман, а его результат. Ее называют также горизонтальными осадками, но это слишком общее название, так как и изморозь (см. гл. IV) тоже горизонтальный осадок. Иногда эту пленку воды называют *наморосью*, что нам кажется наиболее удачным.

Наморось бывает тем обильнее, чем крупнее капли тумана и сильнее ветер. Ее больше на высоких предметах, чем на низких. Иногда странно бывает видеть сухие тротуары и мокрые пятна на них под высокими деревьями, верхушки которых временами касаются низкого слоистого облака. Вода не только стекает по сучьям на ствол, но непосредственно капает с них на землю, точно идет редкий, но крупнокапельный дождь.

Бывает иногда и так, что туман у земли слабый и не дает намороси, а в более высоких частях этого тумана капли крупнее и дают наморось на высоких ветвях или проводах.

### ВОДА РАСТАЯВШЕГО ИНЕЯ

Идя осенью по влажному лугу при невысоком солнце, можно и не догадаться о происхождении «росы», переливающей радужными огнями на траве. Иногда ночной заморозок с инеем сменяется под утро оттепелью. Теплый воздух, пришедший за ночь, растопил иней и превратил его в капли воды, или нагрев взошедшего солнца оказался достаточным, чтобы перевести нежные кристаллики инея в капли воды. Конечно, ночной заморозок на почве при этом бывает небольшим. Это не роса, которая была описана выше, это — *вода растаявшего инея*.

В периоды заморозков нужно внимательно следить за предметами, чтобы не пропустить чередование на них различных явлений. Кто выйдет пораньше, тот увидит иней, а кто позднее — «росу», т. е. воду растаявшего инея. В отличие от истинной росы, эта вода может наблюдаться при совершенно пасмурном небе, чего не бывает при настоящей росе.

## Глава II

### ИНЕЙ И ЕГО ДВОЙНИКИ

В ясное тихое утро при первых заморозках трава покрывается серебристым инеем. В слабую оттепель после суровых морозов каменные стены белеют от пушистого налета кристалликов льда. Как же образуются эти ледяные кристаллы?

Вспомним, в результате чего появлялась на предметах вода: вследствие конденсации водяного пара, отложения капель тумана и таяния льда. Подобными путями образуется на предметах и лед.

Он возникает в результате непосредственной кристаллизации водяного пара, минуя жидкое состояние. Этот переход водяного

пара в твердое состояние (вещество льда) называется сублимацией. Такой лед называется *сублимационным*, а иногда — *паровым*, чтобы подчеркнуть его происхождение непосредственно из пара.

Лед на предметах может появиться и в результате непосредственного выпадения влажного снега, который налипает на провода, на выступы домов и другие наземные предметы.

Наконец, лед возникает на предметах и от замерзания на них воды. Чтобы оттенить такое происхождение льда его иногда называют *водным* льдом.

Когда предмет более холоден, чем воздух, последний около него может охладиться, а содержащийся в нем водяной пар — дойти до состояния насыщения. Тогда пар переходит в воду (при положительной температуре предмета) или в лед (при отрицательной температуре предмета).

Избыток водяного пара сверх нормы, определяющей насыщение воздуха паром при данной отрицательной температуре, сублимируется на предметах в виде кристаллов льда. Так образуется иней, морозный узор на окнах, налет ледяных кристалликов на «промерзших углах избы». Заметим, что последнее выражение, распространенное в обиходе, не совсем точно. Оно как бы указывает на прохождение влаги через дерево, на выделение кристаллов льда из дерева. На самом деле ледяные кристаллы растут на стене жилья, питаясь паром из воздуха. «Промерзание» заключается только в приобретении всей толщины стены отрицательной температуры.

Подобные кристаллы в обилии нарастали изнутри лестничных клеток неотопливаемых домов в блокадную весну 1942 г. в Ленинграде, когда наружные части зданий уже прогреблись. Лестничные клетки сказочно блестяли, многократно отражая врывающийся через окна весенний свет. Температура воздуха снаружи доходила до 15—17° тепла, а массивный камень еще хранил отрицательные температуры совсем недавней лютотой зимы.

Некоторые наблюдения показывают, что при сублимации водяной пар на какое-то очень небольшое время все же проходит жидкое состояние, фазу воды. Этот вопрос еще не разрешен учеными. Явление сублимации очень тонкое и при тех простых наблюдениях, которыми мы пользуемся, неуловимое в подробностях. Поэтому и дальше будем резко разграничивать эти два процесса — конденсацию и сублимацию.

Сублимационный лед имеет существенное внешнее отличие от водного льда, возникающего вследствие замерзания жидкой воды. Первый нарастает в виде пушистого покрова кристалликов, подобных снегу. Второй дает гораздо более плотную корку льда, часто стекловидно прозрачную, массивную. Если посмотреть на кристаллик сублимационного льда в микроскоп, то легко увидеть, что он представляет собой прозрачную, как стекло, льдинку. Поэтому такие образования, как иней и град, с физической точки зрения

оба представляют собой кристаллический лед. Но первый лед внешне кристаллический, а второй — внешне аморфный, некристаллический. Так и будем называть их в дальнейшем, исходя из их внешнего вида и происхождения: кристаллический сублимационный лед и аморфный водный лед.

### РАДИАЦИОННЫЙ ИНЕЙ

В быту и в технике всякое снеговидное отложение льда, вызванное сублимацией пара на поверхности предмета, называется *инеем*. Но метеорологи, которым важно учитывать погодные особенности образования льда, различают внешне одинаковые отложения кристаллического льда по условиям их образования.

Иней, возникающий на почве вследствие ее охлаждения ниже точки  $0^{\circ}$  в ясные ночи, для подчеркивания этой его метеорологической особенности удобно называть *радиационным инеем*. Там, где не может быть путаницы, это название можно сокращать и называть радиационный иней просто инеем.

Если посмотрим внимательно на иней через увеличительное стекло или микроскоп, то увидим поразительно правильные кристаллические формы. Но кристаллы инея не остаются одинаковыми. Они меняются ото дня ко дню в зависимости от изменения погоды, принимая различные формы: то это поле шестиугольных цветков; то лес из тянущихся вверх суставных трубочек, напоминающих хвощ; то кустики тончайших пластинок. Некоторые из этих форм кристаллов инея изображены на рис. 3.

Иней возникает при любой температуре воздуха, когда поверхность предмета, на котором он отлагается, имеет температуру ниже  $0^{\circ}$ . На горах, где воздух особенно прозрачен, а излучение земной поверхности и ее охлаждение очень велики, иней иногда возникает на почве даже при температуре воздуха на высоте 2 м над землей до  $10^{\circ}$ . В Сибири при температуре  $-50^{\circ}$ , как это отмечают метеорологические станции, также может наблюдаться иней.

Толщина покрова инея на предметах обычно не превышает нескольких миллиметров. Так бывает при росте инея в течение только одной ночи. Но в долгую полярную ночь, когда кристаллы инея могут расти целыми неделями подряд, снежная поверхность, на которой иней растет особенно хорошо, будет покрыта слоем кристаллов инея значительных размеров.

Полярный иней еще мало исследован. Поэтому наблюдение над ним и подробное описание вида кристаллов, их величины, длительности роста и условий погоды явились бы существенным вкладом в науку.

Наибольшее количество инея отлагается на шероховатых поверхностях, так как они излучают тепло сильнее и поэтому больше охлаждаются. Например, заржавленная жестянка легко покрывается инеем, а блестящая пластинка охлаждается слабо и иней на ней почти не образуется.

На образование инея влияет также и форма тела. Чем больше при одной и той же массе его поверхность, тем оно легче охлаждается и тем легче образуется иней. На тонкой ржавой жестянке иней будет много, а на массивном обломке чугуна его может не быть вовсе.

На тонкой проволоке радиационный иней не возникает, так как она быстро нагревается от окружающего воздуха.

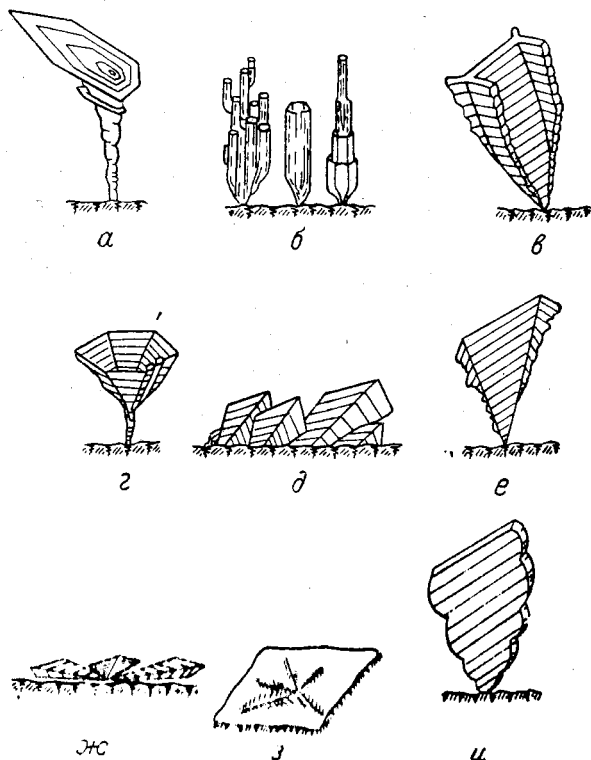


Рис. 3. Схематический вид различных кристаллов инея. Увеличено в 15 раз.

Для изучения зависимости отложения инея от формы предмета можно воспользоваться простым прибором в виде гребенки с зубцами разной ширины. На рис. 4 показана такая гребенка из картона. Наиболее тонкие зубцы сделаны из волоса разного диаметра. Гребенка выставляется горизонтально в ясную ночь под открытое небо. Чем уже зубец, тем меньше на нем инея. На волосе иней уже не возникает.

Иней возникает и на боковых поверхностях предметов, например на заборе, коре дерева. Интересно отложение инея на телеграфном проводе диаметром только 5 мм. Это впервые было

описано А. А. Дмитриевым. Несмотря на малый диаметр провода, было отмечено небольшое количество инея с верхней стороны провода. Но и на нижней поверхности провода было несколько мелких кристалликов льда. Они осели вследствие общего охлаждения провода, так как холод передавался сверху вниз через малый слой металла. На горизонтальной жестяной пластинке снизу образуется лишь немного меньше инея, чем сверху.

Много инея образуется на снежном покрове. Иней здесь отличается правильным расположением кристаллов, выросших на беспорядочно лежащих кристаллах снега.

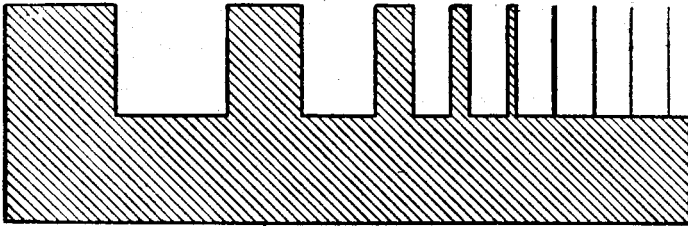


Рис. 4. Прибор в форме гребенки для наблюдения зависимости величины отложения инея от ширины или диаметра предмета.

Наиболее благоприятными условиями для образования инея являются ясное небо и небольшая скорость ветра. Иней может образоваться и при легких прозрачных облаках, при дымке и при радиационном тумане, а также при небольшой переменной облачности.

Обычно иней вырастает под утро, но иногда уже с вечера, а при низком полуденном солнце — и днем.

Количество осадка, получающегося при растапливании инея, определяется взвешиванием, как и при измерении количества выпавшей росы.

#### ИНЕЕВЫЕ ЦВЕТЫ

От радиационного инея следует отличать явление *инеевых цветов*. Это — отложение кристалликов льда в морозную погоду на почве, теплой в глубине. Покров кристалликов льда обычно группируется пятнами около мест выхода теплого почвенного воздуха, например на краях трещин. В редких случаях инеевыми цветами покрывается вся поверхность почвы. Кристаллы, образующие ледяной цветок, имеют величину, не превышающую 1 см, а по форме напоминают мельчайшие листья или короткие щетинки.

Инеевые цветы на почве — явление редкое. Для возникновения их требуется очень резкая смена теплой погоды сильным моро-

зом. В этом случае поверхность почвы охлаждается ниже  $0^{\circ}$ , оставаясь все же намного *теплее* воздуха, а из ее глубины поднимается вверх насыщенный влагою теплый почвенный воздух. При соприкосновении его с холодными частицами почвы пар отлагается на них в виде сублимационного льда.

Один случай образования инеевых цветов был подробно исследован Б. Г. Ивановым. Вот как он описывает это явление.

« 18 декабря 1938 г. в окрестностях Саблинской научной станции Ленинградского государственного университета наблюдался

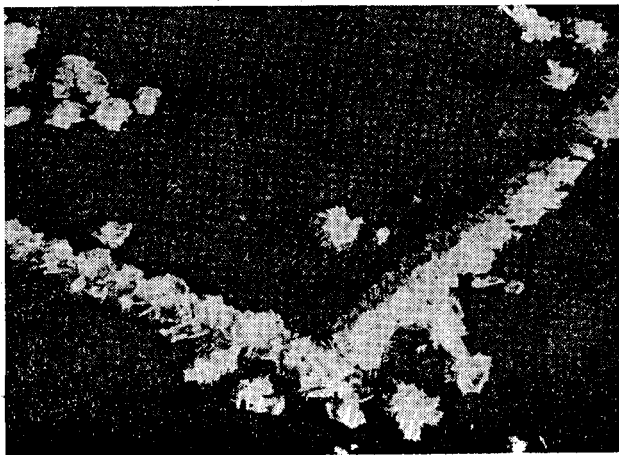


Рис. 5. Инеевые цветы на молодом льду озера в сильный мороз. Они расположены вдоль незаметной для глаза трещины.

сплошной белый как снег осадок, покрывший почву. Осадок всего сильнее был выражен в открытом поле, на оголенной почве. Он состоял из кружевных ледяных образований в виде веточек, напоминавших по форме морозные узоры на окнах. Веточки эти, направленные вверх, буквально на глазах меняли в процессе роста свою форму. Этот покров возник еще утром 15 декабря и держался с небольшим приростом до 25 декабря, составляя по рейкам около 1 см.

В результате вторжения арктического воздуха температура в Саблино упала от  $0$  до  $-15^{\circ}$  и ниже. Термометры на почве (поверхностные) с 15 по 19 декабря во все сроки показывали более высокую температуру, чем в будке на высоте 2 м. Разность в среднем составляла около  $5^{\circ}$ , изменяясь от 2 до  $8^{\circ}$ . В 1 час ночи с 17 на 18 декабря на поверхности покрова температура была  $-14,8^{\circ}$ , а на высоте 2 м  $-22,5^{\circ}$ . В почве на глубине 80 см оказалась температура  $3,0^{\circ}$ , на 40 см  $-1,2^{\circ}$ , на 20 см  $-4,3^{\circ}$ , на 10 см  $-7,0^{\circ}$ ».



Образованию инеевых цветов благоприятствует рыхлая и оголенная от растительности почва, облегчающая выход пара и его соприкосновение с сильно охлажденными частями поверхности почвы. Чаше ледяные цветы вырастают на льду водоема. Когда при сильном морозе молодой лед еще тонок, то поднимающийся от подледной воды пар даже через незаметные глазу поры и трещины во льду кристаллизуется на их краях, отчего вырастают сублимационные кристаллы (рис. 5). В сильные морозы края полынней обрастают обильными кристаллами инеевых цветов. По процессу образования к инеевым цветам следует отнести заиневение наружных частей окон и дверей, заиневение одежды и волос человека, шерсти животных.

Инеевые цветы не образуются на предметах, возвышающихся над почвой. Например, их не бывает на высокой траве, на поверхности досок, на крышах и т. д. В этом отличие инеевых цветов от инея. Не возникают они также на массивных телах, например на камнях, стенах каменных домов и т. п. В этом их отличие от твердого налета.

Наиболее благоприятной погодой для образования инеевых цветов является внезапное значительное похолодание после длительного теплого периода. Этот вид кристаллического отложения возникает при любой облачности и любой скорости ветра. При благоприятной погоде кристаллы могут удерживаться без изменений в течение нескольких суток. Вдоль глубоких и узких трещин почвы они наблюдаются несколько чаще и дольше удерживаются.

Инеевые цветы возникают преимущественно осенью, когда холодный воздух приходит на еще теплую почву. Весной, когда почва промерзла, образование инеевых цветов невозможно.

#### ТВЕРДЫЙ НАЛЕТ

Около ста лет тому назад все виды обледенения предметов, похожие на снег, назывались инеем. Позднее, когда ученым удалось отделить радиационный иней от других внешне сходных явлений, для обозначения всех снеговидных отложений, отличающихся от инея условиями образования, был введен в научное употребление термин «изморозь». Однако через несколько десятков лет было установлено, что изморозь также включает в себя два явления: одно, развивающееся на массивных предметах при потеплении, и другое, образующееся на ветвях и других подобных предметах при тумане в морозную погоду.

В 1912 г. инструкция Главной физической обсерватории метеорологическим станциям уже четко разделила оба эти явления. Название новому виду обледенения «твердый налет» было дано в 1928 г. в первом «Руководстве метеорологическим станциям». Сходное с ним по условиям возникновения явление — отложение воды — было названо «жидким налетом» (см. стр. 9).

*Твердый налет* — это налет в виде снега или льда, образующийся от сублимации водяного пара или намерзания капель ту-

мана, мороси или дождя на предметах, имеющих значительно более низкую отрицательную температуру, чем воздух. Налет наблюдается только при потеплениях и только на предметах, медленно прогреваемых, т. е. обладающих большой тепловой инерцией. Он образуется в любые часы суток. Обычная толщина слоя налета не превышает нескольких миллиметров. Этим твердый налет резко отличается от других видов ледяных отложений, таких как изморозь и гололед, которые могут нарастать до больших величин.

Наибольший слой налета образуется на телах, имеющих большую массу, выпуклую и полированную поверхность (теплоинерционные предметы): куски гранита (колонны, ограды, ступени, фундамент и т. п.), части зданий из гладкого кирпича, массивные металлические детали, большие баки с горючим, гвозди, глубоко вбитые в дерево, и т. п. На острых углах предметов, которые хорошо обтекаются воздухом, и на деревянных предметах, поверхности которых быстро принимают температуру окружающей среды, налет образуется слабо или даже вовсе не возникает.

При очень сильных и резких потеплениях налет может появляться даже на сравнительно небольших массивных металлических и каменных предметах, но отнюдь не на проволоке.

В зависимости от атмосферных условий налет образует существенно различные виды: 1) нежные инеевидные кристаллики — кристаллический налет; 2) плотный снеговидный налет — зернистый налет; 3) прозрачный гладкий налет льда — ледяной налет.

Рассмотрим различные виды твердого налета по отдельности. *Кристаллический налет.* Когда сильные и длительные морозы сменяются теплой погодой с близкими к  $0^{\circ}$  температурами, можно наблюдать, как кристаллический налет покрыл стены каменных домов пушистым слоем кристалликов льда.

Кристаллический налет образуется на предметах, имеющих отрицательную температуру, гораздо более низкую, чем воздух. Кристаллики вырастают путем сублимации водяного пара из соприкасающегося с предметом воздуха.

Подобные явления имеют широкое распространение: блестящие «снега» на стенах пещер зимой, «мороз», выступающий на промерзшей стене дома, морозный узор на окнах, снеговидный налет на трубах холодильника или на внесенном в теплую комнату с мороза металлическом предмете и т. п.

Кристаллический налет появляется при ослаблении мороза (иногда до небольшой оттепели) и отсутствии мороси или дождя. Его нарастанию благоприятствует большая относительная влажность воздуха, а при положительной температуре — туман.

Чем суровее климат, тем при более низкой температуре может появиться кристаллический налет. По наблюдениям в Ленинграде, после тридцатиградусных морозов налет появляется уже при повышении температуры на  $10-15^{\circ}$ , т. е. при отрицательной температуре в  $-15, -20^{\circ}$ .

Любопытны наблюдения образования кристаллического налета на поездах и самолетах. Так, из области с сильными морозами пришел на станцию скоростной состав из цистерн с горючим. Цистерны быстро покрылись столь толстым налетом кристалликов льда, что невозможно было прочесть надписей на них. Большой самолет, у которого баки с горючим находятся в крыльях, при резком снижении и попадании из высоких холодных слоев воздуха в низкие теплые и влажные покрывается кристаллическим налетом. Кристаллики льда образуются только на тех участках крыльев, где помещаются баки с горючим. Крылья самолета становятся поперечнополосатыми от этого неравномерного обледенения.

*Зернистый налет.* Если после сильных морозов наступает оттепель вместе с крупнокапельным туманом, то, кроме сублимации, происходит замерзание на предмет самих капель тумана. Даже внимательное наблюдение не обнаружит в этом случае зеркальных граней кристаллов. Вместо них, при увеличении, будут видны бесформенные рыхлые образования. Этот вид твердого налета напоминает покров слежавшегося снега. Это — зернистый налет.

*Ледяной налет.* Гладкая корка плотного льда ледяного налета возникает только при оттепели и слабом дожде или мороси на предметах, температура поверхности которых медленно изменяется. Капли дождя или мороси при температуре воздуха выше 0° замерзают на холодной поверхности массивного предмета, но замерзают медленно и успевают частично или полностью слиться друг с другом, образуя пленку льда.

Пленка льда растет медленно и не превышает толщины 2—3 мм, так как слой льда изолирует холодную поверхность предмета от более теплого воздуха и тем самым уничтожает причину отложения льда. Пленка льда бывает матовой при неполном слиянии мелких капель и наличии пузырьков воздуха между ними, и прозрачной — при полном слиянии крупных капель. Прозрачная корка наиболее плотна.

Характерно, что при продолжении оттепели корка начинает подтаивать снаружи, отчего налет становится еще более скользким.

Ледяной налет иногда причиняет много трудностей альпинистам. Скала, за которую удобно было цепляться, вдруг после кратковременного дождика, часто незаметного, оказывается губительно скользкой.

Все виды твердого налета могут образоваться в любую часть суток с приходом теплой массы воздуха, что обычно сопровождается пасмурной погодой.

Иногда может происходить одновременное развитие двух видов налета. При сильном ветре и слабом дожде наветренная часть предмета может покрыться ледяным налетом, тогда как подветренная сторона в местах, куда не попадают капли дождя,

может покрыться кристаллическим налетом. Иногда налет образуется в сочетании с другими формами ледяных отложений, например с изморозью.

### Глава III

## ПЕРЕОХЛАЖДЕННАЯ ВОДА

До сих пор нами рассматривались довольно простые случаи образования льда в результате сублимации водяного пара или замерзания капель воды, имевших незадолго перед началом замерзания *положительную* температуру. Теперь нам предстоит познакомиться с замерзанием и испарением водяных капель, имеющих *отрицательную* температуру.

Все мы с детства привыкли считать, что вода замерзает при  $0^{\circ}$ . Однако это не совсем так. Прошло уже более 200 лет с того времени, как Фаренгейт был удивлен непостоянством температуры охлаждаемой воды перед ее замерзанием: при его опытах вода в колбе иногда упорно не хотела замерзать, хотя температура опускалась значительно ниже ее обычной «точки замерзания».

В прошлом веке этому явлению было посвящено много исследований. Вода, имеющая температуру ниже  $0^{\circ}$ , получила особое наименование *переохлажденной*. С нею часто приходится сталкиваться каждому наблюдателю метеорологической станции, так как вода, смачивающая батист на психрометрическом термометре, нередко не замерзает при температуре на несколько градусов ниже нуля.

### ДОЖДЬ ПРИ МОРОЗЕ

Уже много веков тому назад летописцы отмечали необычайные дожди, которые покрывали все предметы коркой прозрачного льда. Для примера приводим отрывок, из Флорентийской летописи: «В 1490 году 17 января ночью начался и продолжался до 18 января мелкий дождь, который замерзал во время падения и образовывал на деревьях ледяные сосульки в таком количестве, что деревья под их тяжестью наклонялись к земле и ветки на них обламывались».

Если температура воздуха у поверхности земли ниже  $0^{\circ}$ , то морось и дождь, падающие из верхнего слоя воздуха, где температура выше  $0^{\circ}$ , переохлаждаются, проходя через приземный холодный слой. Однако переохлажденная вода удерживается в жидком состоянии лишь до тех пор, пока капля не ударится о твердое препятствие. При соприкосновении с твердыми холодными телами капли переохлажденного дождя замерзают и в результате все предметы, на которые они падают (ветви, проволка, дороги, почва, стены зданий и т. п.), покрываются слоем льда — *гололедом* (рис. 6).

Сплошной покров гололеда образуется при отрицательной температуре, близкой к  $0^{\circ}$ , или при большом размере капель переохлажденной воды. При том и другом условии замерзание идет медленно, так как при замерзании капель выделяется скрытая теплота, которая препятствует быстрому замерзанию. При медленном же замерзании капля успевает слиться с другими каплями и дать пленку воды, которая затем переходит в корку льда.

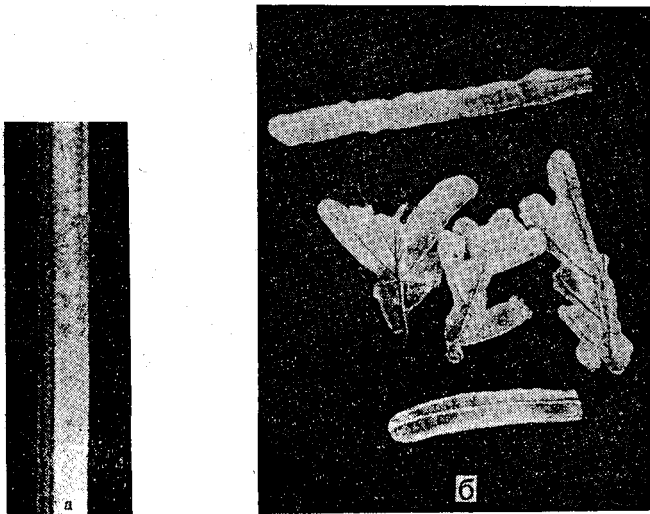


Рис. 6. Переохлажденные капли мороси и дождя дают при замерзании гололед: а) мутный, б) стекловидный.

#### ЗАМЕРЗАНИЕ ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫХ КАПЕЛЬ

Зависимость температуры замерзания капли от ее размера была проверена Т. Ф. Боровик-Романовой на опыте. Капли мелкого дождя диаметром  $1,57$  мм замерзали только при  $-6,4^{\circ}$ , капли мороси диаметром  $0,24$  мм замерзали при температуре  $-13,3^{\circ}$ , а капли тумана не замерзали вплоть до температуры  $-18^{\circ}$ , если их диаметр был  $0,06$  мм или меньше. Следовательно, чем меньше капля, тем менее вероятно образование внутри нее зародыша льда. Вместе с тем переохлажденная капля быстро замерзает, если она соприкасается с растущим кристалликом льда.

Диаметр капель в облаках и туманах, как уже указывалось, в среднем равен  $0,02$  мм. Поэтому на основании результатов опытов с замораживанием капель можно сделать заключение, что облака и туманы могут находиться в переохлажденном состоянии при очень низких температурах. Правда, в большинстве случаев переохлажденные капли в облаках наблюдались только до тем-

ператур —10, —15°. Предел переохлаждения воды в атмосфере еще не найден. Но были зарегистрированы случаи капельно-жидких туманов и облаков при температуре значительно ниже —30°, вплоть до —46°.

Надо отметить, что переохлажденная капля неустойчива, она легко и быстро может замерзнуть, например, при соприкосновении с твердым телом. Поэтому самолет, попадая в переохлажденное облако, начинает покрываться коркой льда, которая нарушает его летные качества, а иногда ведет к авариям.

### ИСПАРЕНИЕ КАПЕЛЬ И РОСТ КРИСТАЛЛОВ ЛЬДА

Образование сублимационного льда в атмосфере усложняется присутствием переохлажденных водяных капель. Наблюдения показывают, что ледяные кристаллы возникают не только при сублимации водяного пара при низких температурах, но образуются также в тумане или облаке, причем в последнем случае возникает гораздо большее количество сублимационного льда.

Посмотрим, как образуется сублимационный лед внутри водяного переохлажденного тумана или облака.

Известно, что упругость насыщенного пара над льдом меньше, чем над переохлажденной водой при той же температуре. Это видно из табл. 3.

Таблица 3

Разность упругости насыщенного водяного пара над водой и над льдом

Температура (в град.) . . . . .	0	—5	—10	—12	—20	—30	—40	—50
Разность упругостей (в <i>мб</i> ) . . . . .	0,00	0,20	0,26	0,27	0,22	0,12	0,06	0,03

При наличии в атмосфере водяных капелек (тумана или облака) водяной пар обычно близок к насыщению над водой (относительная влажность воздуха составляет около 100% над водой). Если в этом облаке имеются ледяные кристаллы, то воздух оказывается перенасыщенным водяным паром по отношению к ним (относительная влажность над льдом больше 100%). Например, воздух, насыщенный паром над водой при —20°, оказывается над льдом перенасыщенным на 21%. Поэтому в случае, когда воздух не насыщен паром над капельками переохлажденной воды и пересыщен над ледяными кристаллами, последние будут расти, а капли испаряться — происходит как бы перекачка пара с капель на кристалл (рис. 7).

Если капли переохлажденного тумана или облака мелкие, то, находясь вблизи кристалла, они испаряются целиком. В микроскоп можно наблюдать, как они исчезают, испаряются: кристалл как бы пожирает капли на расстоянии и быстро растет за счет влаги от их испарения.

Эта перекачка водяного пара с капли переохлажденной воды на кристалл зависит от внешних условий.

Разность упругостей между паром, насыщающим воздух над водной поверхностью, и паром, насыщающим воздух над льдом, бывает наибольшей при  $-12^{\circ}$  (табл. 3). Эта разность при температуре, приближающейся к  $0^{\circ}$ , быстро убывает, но с понижением температуры ниже  $-12^{\circ}$  падает медленно. Например, при температуре  $-30^{\circ}$  она составляет около половины наибольшей разности упругостей. Это показывает, что в переохлажденном тумане или облаке кристаллы будут расти быстрее всего при  $-12^{\circ}$ , реже

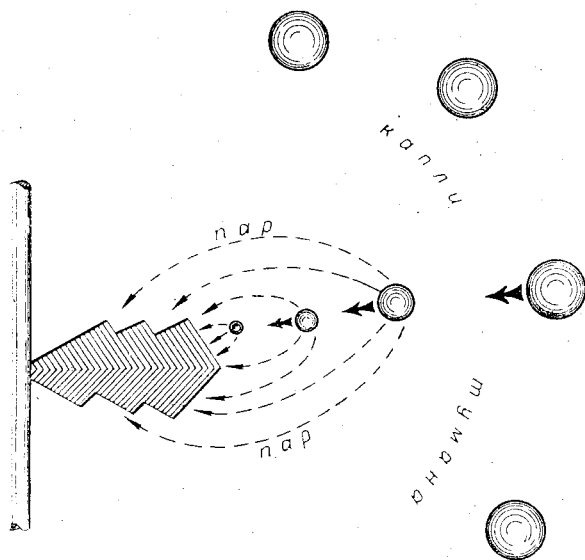


Рис. 7. Перекачка водяного пара с капель переохлажденного тумана на кристалл изморози (капли увеличены по сравнению с кристаллом в 50 раз).

всего их можно встретить при температурах вблизи  $0^{\circ}$ , но довольно часто при очень низкой температуре.

При значительном ветре капля быстро движется и может успеть коснуться кристалла до того, как она испарится. При слабом ветре капля того же размера медленно подходит к кристаллу и может целиком испариться, а пар сублимироваться на кристалле. Образованию правильных кристаллов льда в тумане благоприятствует малый размер капель. Чем капли мельче, тем они быстрее испаряются на пути к кристаллу.

#### ОБРАЗОВАНИЕ ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫХ ОСАДКОВ

Переохлажденная вода играет большую роль в обледенении наземных предметов. Она может не только находиться в воздухе в виде капель тумана или облака, но и выпадать на землю в виде переохлажденной мороси или дождя.

Увеличение размера переохлажденных капель при большой мощности и длительном существовании облака может привести к выпадению их в виде мороси. Это часто происходит при отрицательных температурах, близких к  $0^{\circ}$ , причем переохлажденная морось выпадает из низких слоистых облаков.

Переохлажденный дождь обычно бывает обложным. При этом у поверхности земли имеется слой воздуха с небольшой отрицательной температурой (рис. 8), выше него располагается слой с положительной температурой, еще выше находится слоисто-дождевое облако при отрицательной температуре. Из этого

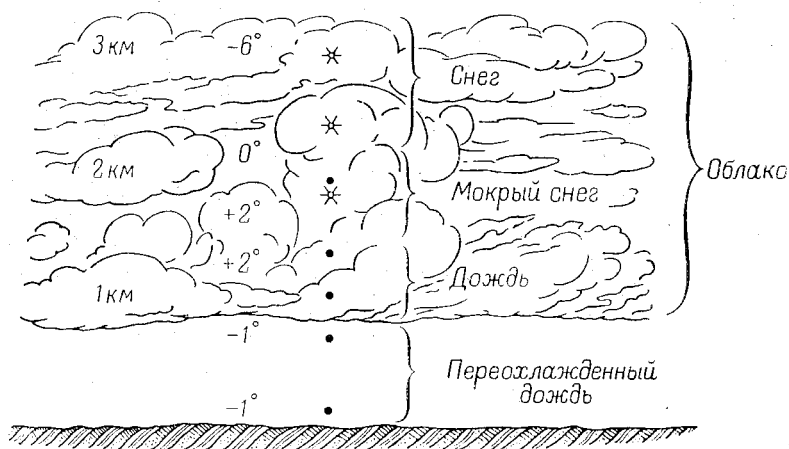


Рис. 8. Схема образования переохлажденного дождя.

облака выпадает снег, возникающий при отрицательных температурах около  $-10, -20^{\circ}$ . Снег тает, проходя через теплый слой воздуха, и в виде дождя попадает в приземный холодный воздух. Здесь капли быстро приобретают температуру окружающей среды и потому достигают поверхности земли в переохлажденном состоянии. Некоторые из них успевают заморозиться в форме ледяных капель, известных под названием *ледяного дождя*. Если из верхнего облака выпадают очень мелкие снежинки, то при таянии они могут дать очень мелкий дождь или крупную морось.

Таковы основные пути образования той переохлажденной воды в воздухе, которая в жидком виде достигает земных предметов. Однако бывают и другие метеорологические условия ее возникновения. Остановимся на одном таком, совершенно особом случае. Сильный ветер над морем может относить брызги воды на большое расстояние. Крупные брызги, в размере дождевых капель, выпадают недалеко от берега, но мелкие, в размере капель мороси и тумана, могут относиться от моря на расстояние больше километра. При морозе в прибрежной полосе боль-



ших водных бассейнов (море, озеро) эти брызги дают все виды обледенения предметов — от стекловидного гололеда (невдалеке от берега) до кристаллической изморози (далеко от него). Это *брызговое обледенение* иногда бывает столь обильным, что вызывает обрыв проводов и другие аварии.

Переохлажденную воду в атмосфере только начинают изучать. В представлениях об условиях слияния переохлажденных капель, их замерзания и испарения вблизи кристалла еще есть много неясностей, которые, без сомнения, будут выяснены в ближайшее время.

#### Глава IV

### ОБЛЕДЕНЕНИЕ ПРОВОДОВ И ДЕРЕВЬЕВ

Наиболее мощные отложения льда на предметах бывают во время небольшого мороза ( $-1$ ,  $-5^\circ$ ) при дожде или мороси или при очень сильном ветре с густым туманом. Эти отложения называются *гололедом* и *зернистой изморозью*.

Более слабые отложения льда, называемые *кристаллической изморозью*, образуются в тумане при умеренных морозах ( $-10$ ,  $-20^\circ$ ). В очень сильный мороз ( $-40^\circ$ ) без тумана, но при пересыщении воздуха водяным паром возникает изморозь наименьшей величины и плотности.

Величина и плотность отложения изморози зависят от размера переохлажденных капель (туман, морось или дождь), густоты тумана или интенсивности жидкого осадка, температуры воздуха, скорости ветра. Выпадение снега при образовании изморози, особенно зернистой, усиливает рост отложения и изменяет его строение.

Наиболее важным признаком гололеда и изморози, отличающим их от других видов обледенения предметов, служит отрицательная температура воздуха и преимущественное обледенение хорошо обветриваемых предметов: тонких ветвей, проводов.

#### КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ ИЗМОРОЗЬ

Изморозь украшает однообразие зимнего пейзажа. Особенно она преобразует лес, одевая его в красивое зимнее убранство. Мы наблюдали, как зимним вечером лес был неприглядно серым, прозрачным. Ночью появился туман. С восходом солнца туман стал рассеиваться, а лес оказался одетым в белые узоры изморози, сказочно поблескивающие в холодных лучах низкого зимнего солнца. Прежде незаметные веточки и тонкие провода, покрытые изморозью, сильно увеличились. Лес, завешенный кружевами изморози, стал непрозрачным, как летом при листве. Изморозь преобразила и украсила его зимний вид.

Представление об образовании кристаллов изморози путем сублимации водяного пара утвердилось в науке не так давно.

Еще во второй половине XIX в. туман представлялся скоплением водяных пузырьков, а не капель. Изморозь объясняли замерзанием их оболочек, которые при этом разрывались.

В 20 и 30-х годах текущего столетия кристаллическая изморозь была окончательно выделена в самостоятельный вид отложения льда, отличающийся от зернистой изморози и других сне-

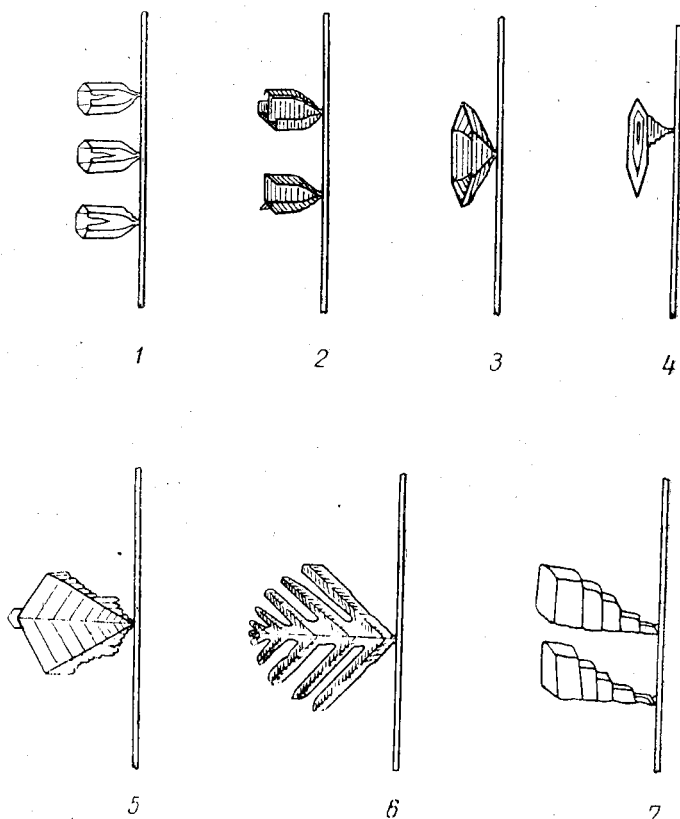


Рис. 9. Схематические формы кристаллов изморози, увеличенные в 15 раз.

говидных форм обледенения наземных предметов. В последние годы советские ученые дали подробную классификацию форм изморози, уделив внимание и ее кристаллическому виду. Обычно кристаллическая изморозь в метеорологии называется просто изморозью, а в художественной литературе и в народе — инеем.

На рис. 9 приведены основные формы кристаллов изморози. Они напоминают кристаллы инея (см. рис. 3). Кристаллы изморози подобны снежинкам, но только представляют собой как бы

их половинки, вследствие того, что они с одной стороны неподвижно закреплены на предмете и имеют возможность расти только в противоположную сторону. Развита кристаллическая изморозь прикреплена только очень небольшой своей частью к предмету, что и объясняет непрочность покрова кристаллической изморози: достаточно тряхнуть дерево или провод, чтобы изморозь осыпалась. Это — характерная отличительная черта кристаллической изморози.

Кристаллическая изморозь обладает малой плотностью за счет разреженного закрепления оснований кристаллов на предмете и большой их разветвленности с удалением от предмета. Недаром практики называют эту изморозь пушистой: не только ее вид, но и плотность приближается к плотности пуха.

Распространенное мнение, что в образовании кристаллической изморози участвуют «ледяные иглы» (см. «Ледяная пыль»), неверно. Оно основано на том, что иногда оба эти явления наблюдаются одновременно: в воздухе образуются кристаллы ледяной пыли, а на предмете — изморозь. Изморозь и ледяная пыль, независимо друг от друга, происходят по одной общей причине — пересыщения воздуха водяным паром при очень низкой температуре.

Редко слой пушистой изморози достигает толщины 10 мм. При небольшом подогреве поверхности предмета лучами солнца или при уменьшении влажности воздуха изморозь осыпается сама. Изморозь не вызывает большого утяжеления ветвей и проводов. Однако если много дней подряд устойчиво удерживается туман при безветрии, то кристаллическая изморозь постепенно достигает больших размеров.

Изморозь, образуемая на проводах даже в небольших размерах, ухудшает работу телефона и телеграфа. Предохранение от нее возможно незначительным подогревом проводов.

На кристаллах изморози иногда обнаруживаются отдельные намерзшие капли тумана. Более значительные количества кристаллической изморози возникают при не очень низких температурах ( $-10$ ,  $-20^{\circ}$ ) в переохлажденном тумане. Только в тумане кристаллическая изморозь растет достаточно быстро. При температурах ниже  $-25^{\circ}$  и затишье насыщение воздуха водяным паром, достаточное для образования изморози, может происходить и от местных очагов влаги: испарений незамерзшего водоема, отработанного пара машин и т. п.

В связи с этим в ряде случаев при сильных морозах изморозь может появляться, например, только вблизи железнодорожных станций, а дальше от них ее не будет.

Без видимого тумана изморозь растет значительно медленнее. Образование изморози в прозрачном воздухе происходит преимущественно при очень низких температурах, обычно ниже  $-40^{\circ}$ . Очагами увлажнения воздуха могут быть в этом случае: тонка бытовых печей в селении, выдыхаемая животными влага и т. п.

Подобная изморозь характерна, судя по отрывочным описаниям, для Сибири. Сибирская изморозь особенно тесно связана общностью происхождения с блестящими ледяной пылью.

Изморозь отлагается одинаково, независимо от вещества предмета, на металлическом проводе, веточке дерева и веревке, если их толщина одна и та же. Это впервые в 1905 г. обнаружил начальник метеорологической станции Фенино Курской области И. А. Пульман.

Изморозь обладает и другим замечательным свойством, противоположным инею. Она тем быстрее нарастает, чем тоньше проволока или ветка. Тончайшие волокна, проволочки и веточки при изморози напоминают пушистых ежей. Телеграфные провода все же различаются сквозь отложение изморози. Гладкие большие поверхности, особенно плоские, в это время бывают совершенно свободны от обледенения. Только местами на них имеются небольшие кустики кристаллов, выросшие на приставших к предмету пылинках.

Еще несколько лет назад ученые не могли найти простого способа различать иней, кристаллический налет и изморозь. Сейчас, хорошо зная их физическую сущность и условия образования, это легко определяется.

Конечно, природа не знает разграничений. Иногда в ясные ночи со слабым туманом одновременно нарастает и иней и изморозь. Но, пользуясь «гребенкой» (см. стр. 15), можно определить соотношение количества льда, даваемого изморозью сравнительно с инеем.

### ЗЕРНИСТАЯ ИЗМОРОЗЬ

Мы уже несколько раз упоминали об оседании переохлажденных капель на кристалл. Этому оседанию капель прежде не придавали большого значения, между тем теперь выяснено, что все случаи наиболее тяжелых форм изморози происходят именно от непосредственного намерзания капель тумана.

Если посмотреть в микроскоп на матовые виды изморози или на звездочки снега, кажущиеся как бы обсахаренными, то можно заметить, что плоские грани кристалла покрыты, как бисером, ледяными шариками диаметром 0,02—0,03 мм, т. е. меньше толщины человеческого волоса (рис. 10). Эти ледяные шарики есть не что иное, как отвердевшие капли тумана.

Щаровая форма показывает, что мелкие переохлажденные капли, прикасаясь к кристаллу, мгновенно замерзают. В результате кристалл постепенно покрывается сеткой ледяного бисера, на которую намерзают все последующие капли (рис. 11). Насколько мелко капли и как их много оседает на кристалл льда, можно судить хотя бы по тому, что в состав обыкновенной снежной крупинки (см. гл. V) входит несколько сот тысяч ледяных зерен — оледеневших капель облака.



Рис. 10. Замерзшие капли облака на ледяном кристалле.

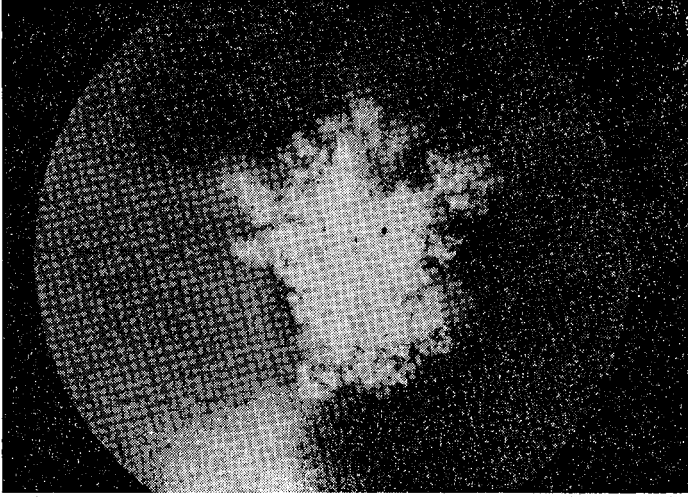


Рис. 11. Массовое замерзание капель облака друг на друга дает рыхлое снеговидное отложение льда.

Эта изморозь, образованная замерзшими каплями тумана, называется *зернистой*, или *плотной*. Она более плотна, чем сублимационная кристаллическая изморозь, но все же имеет еще вид снега. Ее образованию благоприятствуют небольшой мороз, крупнокапельный туман, большая скорость ветра. Если сублимационную изморозь можно было назвать для большинства случаев радиационной, то зернистая изморозь по условиям образования

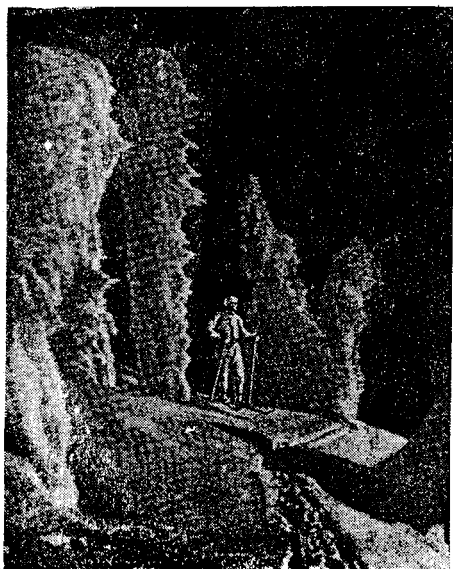


Рис. 12. Зернистая изморозь на горной вершине.

является адвективной, т. е. связанной со вторжением теплой массы воздуха.

Зернистая изморозь возникает в результате намерзания на предмет и друг на друга капель переохлажденного тумана или облака при ветре. Плотность тумана в этом случае увеличивается до некоторой высоты над землей, увеличивается с высотой и скоростью ветра.

При таких условиях изморозь будет расти быстрее всего на предметах, глубоко вдающихся в слоистое облако, например находящихся на вершинах гор и высоких холмов. Поэтому зернистая изморозь — характерное горное явление. Там она бывает часто и ее отложения на предметах достигают огромных размеров, иногда 1—1,5 м (рис. 12).

Остановимся на случае образования гигантской изморози в Предкавказье. В районе Минеральных Вод 24—25 февраля 1939 г. наблюдался восточный ветер и пасмурная с туманом погода при небольшом морозе. Туман отмечался в пунктах, расположенных на высотах от 300 до 1000 м над уровнем моря. В более низко расположенных местах, севернее станции Минеральные Воды, наблюдались только слоистые облака. С высоких гор в окрестностях Кисловодска было видно сплошное море тумана, из которого кое-где торчали макушки наиболее высоких гор, например, Бештау; вверху было ясное небо и светило солнце.

В результате оседания капель тумана росла изморозь. Она в Минеральных Водах (302 м над уровнем моря) достигла 3—4 см, в Пятигорске (503 м) — 5—7 см, на отрогах Машука — 15—20 см, а на его вершине (985 м) — 100 см. На нижних перепадах триангуляционной вышки длина перьев изморози дохо-

дила до 1,5 м. Ажурная вышка выглядела при таком отложении, как монолитная пирамида. Даже поверхность дороги у вершины Машука была покрыта 10—20-сантиметровыми почти горизонтальными перьями изморози. Скорость роста отложения превышала 2 см/час.

Отложения зернистой изморози, имеющие большие размеры, оказывают влияние на различные стороны человеческой деятельности.

Например, в лесу при зернистой изморози может возникнуть санный путь, хотя снег еще не выпал. Осыпающаяся изморозь в засушливых местах имеет существенное значение для увлажнения почвы.

В горных местностях во время небольшого мороза нередко случаи обильного снегопада при тумане. В этом случае снежинки при снегопаде скрепляются замерзающими каплями переохлажденного тумана и дают новый своеобразный вид обледенения предметов — *изморозь со снегом*. Важно отметить, что при этом снег не просто насыпается на поверхность изморози, но входит в нее и участвует в формировании всей массы покрова. Изморозь со снегом растет быстрее зернистой и потому является более вредной для воздушных линий связи и электропередачи.

Наблюдатели высокогорной станции Алагез (Армения) 9 марта 1940 г. были удивлены при виде оседающей изморози розового цвета. Согласно описанию начальника метеорологической станции А. Н. Польского, явление проходило следующим образом.

В 00 часов 9 марта во время тумана со снегом, при температуре  $-7^{\circ}$  и резком усилении ветра до 24 м/сек, началось выпадение темножелтого с розовым оттенком снега и одновременно нарастание на белой изморози цветного слоя, однотонного с цветом снега. Видимость стала ниже 50 м. Цветной снег продолжался 1 час, столько же времени росла и окрашенная изморозь. Изморозь была полуледяной, очень твердой — от штормового ветра не осыпалась и с трудом снималась рукой. После прекращения нарастания цветной изморози и выпадения цветного снега продолжался обычный белый снегопад. Слой изморози достиг 2 см: на слое белой изморози толщиной в 1 см накопился такой же слой розовой изморози. Скорость ветра до цветного снегопада была 10 м/сек, после — 14 м/сек.

Откуда же попала пыль на покрытые снегом склоны Алагеза? Раньше считали, что она приносится издалека, из пустынь Африки, за тысячи километров. Но это неверно. Этот шквалистый ветер был вызван вторжением холодного, незапыленного воздуха, пришедшего с северо-запада. Бурный ветер (до 24 м/сек) поднял пыль со всех более или менее свободных от снега участков земли, а так как была уже весна, то пыль поднималась с ближайших оголенных от снега мест за какую-нибудь сотню километров.

Зернистая изморозь растет почти только с наветренной стороны предметов и с усилением ветра ее рост ускоряется.

Нарастанию зернистой изморози благоприятствуют большие скорости ветра, большая густота тумана, небольшой мороз. Температура при отложении зернистой изморози обычно наблюдается в пределах  $-2$ ,  $-7^{\circ}$ , но иногда бывает и более низкой, вплоть до  $-15$ ,  $-20^{\circ}$ . С усилением мороза и ослаблением ветра плотность и количество зернистой изморози уменьшаются, и она постепенно переходит в форму кристаллической изморози. При повышении температуры и укрупнении капель тумана до размера мороси изморозь переходит в гололед.

Зернистая изморозь иногда может быть по внешнему виду сходна с мутным гололедом, благодаря наличию переходных форм между ними.

В таких случаях для отличия изморози от гололеда следует иметь в виду, что кусок плотной изморози при изломе крошится в руках, в то время как гололед ведет себя, как однородное твердое тело. Кроме того, поверхность гололеда обычно бывает сглаженной.

Зернистая изморозь имеет матово-белый цвет. При длительном существовании отложения зернистой изморози на ее поверхности образуется наст, и она становится блестящей. Несмотря на хрупкость, зернистая изморозь обладает достаточной прочностью для того, чтобы ее можно было снимать с провода кусками.

По внешнему виду зернистая изморозь имеет аморфное строение. Иногда поверхность зернистой изморози бывает бугристая и даже игольчатая, но эти выступы матовы, шершавы, без кристаллических граней.

## ГОЛОЛЕД

Высокий технический уровень железнодорожного хозяйства, обладающего густой сетью проводов, высокоразвитое энергетическое хозяйство, снабженное проводами высоковольтных линий, несущими ток в самые различные направления по территории СССР, многочисленные строительства гидроэлектростанций, еще на много тысяч километров удлиняющие кабельную электрическую сеть, создали в Советском Союзе огромную сеть воздушных линий связи и электропередачи. Эти линии на большей части территории Советского Союза время от времени могут быть подвержены вредному воздействию гололеда. В некоторых случаях гололед может вызвать катастрофу.

Известный исследователь явлений гололеда на железных дорогах Н. С. Муретов приводит следующие случаи разрушительных гололедов. В декабре 1930 г. на железных дорогах юго-запада Европейской территории СССР гололедом было сломано 4000 и повалено около 5000 телеграфных столбов. В Тульской области 15—16 ноября 1933 г. гололедом были повреждены и не работали в течение 5—10 суток электросеть, телеграфная и теле-



фонная связь. Вес льда на 1 м провода составлял несколько килограммов, в предельных случаях — более 10 кг. На один двадцатипятиметровый пролет, учитывая наличие нескольких проводов, получалась добавочная нагрузка почти в 1 т весом. При наличии в это время сильного ветра прибавляется громадная динамическая нагрузка из-за огромной парусности обледенелых проводов. Поэтому провода, столбы или опоры не выдерживают таких напряжений и разрушаются. Сучья деревьев при таком гололеде обламываются и от дерева остается один обдранный или расщепленный ствол. Так гибли, иногда целиком, фруктовые сады.

Борьба с гололедом ведется теперь успешно. На основе изучения причин возникновения гололеда даются предсказания его образования. Тогда принимаются предохранительные меры. Провода высоковольтных линий подогреваются, и капли переохлажденного дождя на них не замерзают, а образовавшийся лед испаряется или стает. Слаботочная аппаратура линий связи не позволяет применять ток для подогрева. Тогда используют механическое удаление льда.

Гололед бывает разрушительным наиболее часто на равнинах. В горных же местностях наибольшие разрушения вызываются зернистой изморозью.

В старинных летописях отмечаются губительные гололеды. Тогда не понимали причины возникновения гололеда и считали, что он образуется в результате замерзания простого дождя.

Что же представляет собой гололед? Это слой плотного льда (матового или прозрачного), имеющего ледянистый вид и нарастающего на любых предметах при морозе от замерзания капель переохлажденного дождя и мороси. Гололед образуется преимущественно с наветренной стороны предметов и обычно при слабых морозах (0,  $-3^{\circ}$ ), но реже он наблюдается и при более низких температурах, вплоть до  $-16^{\circ}$ .

Капли дождя или мороси замерзают медленно, так как имеют большой запас скрытой теплоты. Вследствие этого, прежде чем замерзнуть, капли успевают растечься и слиться в сплошную пленку воды, которая при замерзании дает плотную, иногда стекловидно-прозрачную корку льда, толщиной от долей миллиметра до нескольких сантиметров (см. рис. 6).

Встречаются случаи образования гололеда от брызг, приносимых ветром с водоема в морозную погоду. Форма, плотность и величина этого отложения подобны обычному гололеду, но имеют другое происхождение. Это отложение возникает только в прибрежном районе большого водоема (озера, моря, редко — большой реки) при бурном ветре. Плотность и величина этого отложения уменьшаются по мере удаления от берега. Поэтому если непосредственно вблизи береговой черты от брызг образуется гололед, то дальше — лишь зернистая изморозь.

В 1931 г. под Сталинградом наблюдатель метеорологической

станции Н. С. Маргунов отметил гололед кофейно-молочного цвета. В нем была обнаружена желтовато-сероватая минеральная пыль. Развитие гололеда происходило во время пыльной бури, когда вся окрестность была окрашена пылью в кофейно-молочный цвет. Необычайный вид гололеда был вызван примесью пыли к отложению льда. Колебание интенсивности пыли отражалось на интенсивности окраски: в гололеде различалось три слоя различной степени запыленности. Наиболее темным, т. е. самым запыленным, был средний слой, когда пыльная буря имела наибольшую силу.

### ЗАМЕРЗШИЕ КАПЛИ ВОДЫ НА ПРЕДМЕТАХ

С явлением гололеда не следует смешивать замерзание воды на предметах.

Переход температуры воздуха через  $0^{\circ}$  в сторону похолодания вызывает замерзание воды, имевшейся до этого на предметах. В отличие от замерзания переохлажденной воды это замерзание можно назвать *простым замерзанием*. Вода на предметах появляется по различным причинам: роса, капли, оставшиеся от дождя, капли, образованные растаявшим снегом, пленочная вода на тающем снеге. В связи с этим обледенение наземных предметов, вызванное простым замерзанием воды, имеет несколько видов.

Капли, оставшиеся от росы, дождя или растаявшего снега, иногда замерзают. На различных предметах (ветвях, проводах, травинках и т. п.) остаются мелкие ледяные шарики или зубчики. Иногда их можно принять за небольшой гололед. Но это будет ошибкой. В отличие от капель воды — это застывшие безжизненные ледяные капли. Они не дают дрожания разноцветных солнечных лучей. От прикосновения к ним слышен только сухой шелест.

*Замерзшая роса* образуется на тех предметах, на которых возникает иней или роса. Она возникает при двух типах погоды.

Во-первых, роса замерзает при похолодании от ночного излучения с переходом почной температуры через  $0^{\circ}$ . После замерзания росы может начаться развитие инея.

Во-вторых, роса замерзает при внезапном похолодании до отрицательных температур от вторжения холодной массы воздуха. При этом может развиваться сильный ветер или сплошная плотная облачность, препятствующие образованию инея.

Замерзшая роса встречается реже, чем иней. Размер ледяных капель замерзшей росы бывает от 1 до 5 мм. Ледяные капли бывают полупрозрачными, часто завуалированными инеем, отлаживающимся на них.

Практическое значение этого явления ничтожно.

*Замерзшие капли* дождевой или талой воды — это ледяные шарики или округлые зубчики, образовавшиеся от замерзания

воды, находившейся в виде свешивающихся капель на проводах, ветвях, карнизах, сочленениях ветвей, в месте укрепления провода, т. е. там, где могла удерживаться капельная вода. Их размер бывает от одного до нескольких миллиметров.

Замерзшие капли наблюдаются при быстрой смене погоды во время дождя, мороси или густого тумана на морозную погоду. Явление это наблюдается редко и почти не имеет практического значения.

### НАЛЕПЬ

*Налепь* — это слой налипшего снега. Мокрый снег, вследствие своей липкости, постепенно скопляется на поверхности



Рис. 13. Налепь (оледенелый снег) на ветвях дерева в форме причудливых комьев, напоминающих украшение из ваты новогодних елок.

предметов в виде висячего снежного покрова (рис. 13). Налипший снег делает неразличимыми знаки сигнализации, действует своей тяжестью разрушающе на провода, ветви деревьев или приводит к другим вредным последствиям. Покров мокрого снега удерживается на предмете вследствие своей липкости и находится как бы в висячем положении; это также одна из форм оледенения предметов.

Снег обладает липкостью только в мокром состоянии, когда он выпадает тающим. Разрушительная снежная налесь проходит две стадии образования.

Во-первых, мокрый снег налипает при положительной температуре и слабом ветре. Он дает отложение мокрого снега *влажную налесь*.

Во-вторых, мокрый снег оледеневаает при последующем наступлении мороза и жестко скрепляется с предметом. Этот *слой*

оледенелого снега и есть вторая стадия налепи — *замерзшая налепь*. В последнем случае при ветре к весовому давлению массы снега на предмет присоединяется динамическое давление ветра, которое может превзойти весовое, так как парусность про- вода или дерева увеличивается в десятки раз.

Мокрый снег при выпадении его в тихую погоду постепенно отлагается на верхней части тонких веток, проводов и тому подоб- ных предметов и в то же время сползает вниз. В результате этого получается сплошное обволакивание провода отложением мокрого снега со всех сторон.

Налепь возникает преимущественно при температуре выше  $0^{\circ}$ , но несколько меньше  $1^{\circ}$ . При температуре выше  $1^{\circ}$  она растет медленно или даже отваливается. Налепь бывает разных степе- ней влажности и плотности, понимая под влажностью налепи соотношение жидкой (водяной) и твердой (снежной) составных ее частей.

Быстроте налипания снега благоприятствует большая интен- сивность снегопада и затишье. Сильный ветер сдувает отложения мокрого снега с деревьев и проводов, но благоприятствует его отложению на вертикальных поверхностях. При понижении тем- пературы ниже  $0^{\circ}$  отложение мокрого снега постепенно замер- зает и образует замерзшую налепь.

#### ЗАМЕРЗШАЯ НАЛЕПЬ

Рассмотрим типичный пример образования замерзшей налепи.

В г. Тегеране (столице Ирана) в ночь на 6 января 1945 г. наблюдалась замерзшая налепь, вызвавшая многочисленные раз- рушения. Вечером 5 января температура стала падать и дождь постепенно сменился мокрым снегопадом большой интен- сивности. Температура продолжала понижаться и перешла через  $0^{\circ}$ , достигнув незначительной отрицательной величины. Снегопад постепенно ослабевал и окончился утром 6 января. За ночь вы- пало 25 мм осадков и образовался покров снега высотой 15— 20 см со средней плотностью 0,14.

В результате замерзания выпавшего мокрого снега образо- валась тяжелая форма обледенения. На проводах диаметром 5 мм толщина отложения (вместе с проводом) достигла 40— 50 мм. Это вызвало обрыв проводов, и город на некоторое время был частично лишен связи и электроэнергии. В садах было вы- ворочено много елей, представлявших в пустынном климате Те- герана большую ценность.

В соседних районах города, где было теплее или холоднее, чем в центре, обледенение было незначительным или даже совсем не возникло. Например, на самой южной окраине Теге- рана, более низкой и потому более теплой, шел очень мокрый снег с дождем, мороза не было и налипание снега было незначи- тельным. На северной окраине, расположенной значительно выше

центра Тегерана, шел только сухой снег при морозе, который также не дал обледенения.

Налипание снега, принесшее вред городскому хозяйству Тегерана, проходило почти при полном безветрии. Отложение наледи имело следующее строение: почти прозрачный слой льда, затем лед с меньшей плотностью, наконец, совершенно сухой снег, лежащий сверху.

Обильное налипание мокрого снега может произвести большие разрушения в лесном хозяйстве. Весной в хвойном лесу в результате действия наледи можно увидеть наклоненные, поваленные и сломанные сосны и ели.

Молодые деревья под тяжестью налипшего снега изгибаются так, что достают вершинами землю. После этого они не всегда выпрямляются и представляют собой брак в лесном хозяйстве.

В народе и у лесоводов повреждение древесной растительности налипшим снегом получило характерные наименования «снеголом» и «снеговал». В некоторых районах от снеговала опустошались целые леса и гибли все фруктовые сады. 8—9 мая 1937 г. на Южно-Уральской железной дороге налипший снег в один день повредил 1500 столбов телеграфной железнодорожной линии, кроме порванных проводов, слой снега на которых достигал 80 мм в поперечнике.

Известны случаи массовой гибели скота, находящегося на подножном корму, в результате замерзания на животных мокрого снега. Например, овцы, обессиленные предшествующими неблагоприятными условиями погоды, иногда были не в состоянии сбрасывать с себя слой налипающего снега. Последующий мороз сковывал животных ледяной броней, и они замерзали огромными стадами.

Замерзшая налесь имеет несколько существенно различных форм. Если снег выпадал только при температуре около  $1^{\circ}$ , то замерзшее отложение бывает стекловидно-прозрачное, как гололед. Если выпадение снега прекратилось около  $0^{\circ}$ , то оно имеет малую среднюю плотность и снеговидную форму.

Часто происходит замерзание отложения мокрого снега с одновременным его ростом за счет отлагающихся сухих снежинок. Этому благоприятствует безветренная погода с медленным переходом температур от положительных к отрицательным значениям и непрерывное выпадение обильного снега. Налесь распространена по всему Советскому Союзу, но частота и интенсивность ее образования для разных районов неодинаковы. В отдельных местностях оледенелый снег вызывает больше аварий, чем изморозь и гололед вместе взятые, однако общая частота случаев налипания снега обычно меньше, чем явлений изморози или гололеда порознь.

Для принятия мер защиты от разрушающего действия наледи решающее значение имеет своевременный прогноз погоды, даваемый службой погоды. Лес сохраняется от снеговала путем

разумной распланировки. Воздушные линии связи предохраняются от повреждения посредством своевременного удаления с проводов снега, когда он находится еще в вязком состоянии при положительной температуре.

## Глава V

### ОСАДКИ

На земную поверхность выпадают и на ней отлагаются различные виды водяных, ледяных и снежных образований. Часть из них отлагается непосредственно на земной поверхности или на каких-либо наземных предметах (иней, роса, изморозь и др.) и называется *наземными отложениями*. Другая часть выпадает из облаков в виде атмосферных осадков (дождь, снег, град) и называется *осадками*, которые и будут рассмотрены в настоящей главе.

#### ВИДЫ ОСАДКОВ

Осадки отличаются большим разнообразием. Они бывают жидкими, твердыми и смешанными. Каждая из этих трех форм

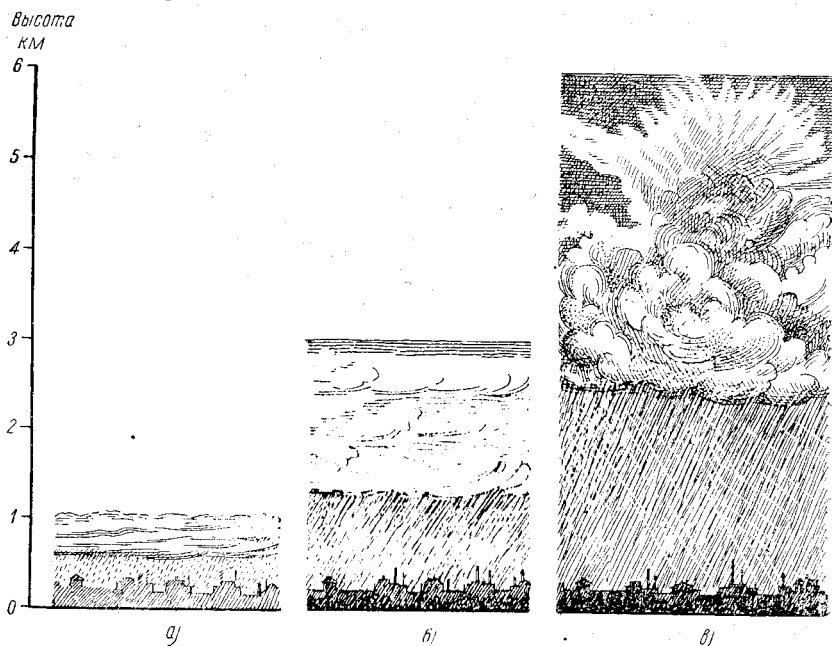


Рис. 14. Облака и соответствующие им виды осадков: а) слоистые облака — морось, б) слоисто-дождевые облака — обложные осадки, в) ливневые облака — ливневые осадки.

осадков может выпадать как при положительной, так и при отрицательной температуре. Жидкие осадки, выпадающие при морозе, представляют собой самостоятельные виды переохлажденных осадков.

Твердые осадки при положительной температуре могут выпадать как мерзлыми, так и тающими. Последние представляют собой иногда тающий снег, а иногда смесь снега и дождя. При малой относительной влажности воздуха твердые осадки, такие как снег, крупа и град, охлаждаются при падении вследствие испарения и могут выпадать мерзлыми при температуре до 5—10°.

При положительной температуре воздуха чаще выпадают тающие ледяные или снежные осадки, сопровождающиеся дождем или моросью. Соотношение количества осадков в твердом и жидком виде бывает самым разнообразным. При умеренном дожде среди капелек можно различить комочки полурастаявших снежинок; в сильном, подтаивающем снегопаде среди снежинок можно обнаружить следы капель дождя. Град также выпадает то влажным от подтаивания, но без дождя или с отдельными его каплями, то в обильном ливне, где с трудом обнаруживаются остатки полурастаявших градин. Мокрый снег всегда сопровождается хотя бы самым незначительным дождем.

Осадки различаются между собой по условиям образования, определяющим и характер их выпадения. Различают 3 вида осадков: морозящие, обложные и ливневые. Это разделение осадков называется синоптическим. Мощность облаков, дающих эти три вида осадков, схематически показана на рис. 14.

Различаются некоторые виды осадков и по размеру частиц, таковы, например, град и ледяная крупа.

### ЖИДКИЕ ОСАДКИ

Морось, обложной и ливневой дождь — основные виды дождя. Каждый вид имеет свои характерные отличительные черты, позволяющие безошибочно его определять.

Морозящий дождь, или *морось*, выпадает в виде мелких дождевых капелек из сплошных низких слоистых облаков.

Размер капель мороси настолько мал (от 0,1 до 0,4 мм в диаметре) и капли настолько медленно опускаются на землю, что не производят впечатления дождя. Капли мороси, опустившиеся на кожу человека (лицо, руки), едва ощущаются, а на воде не дают кругов. При выпадении мороси видимость заметно понижается. Предметы при мороси намокают медленно, но равномерно.

*Обложной дождь* бывает длительным, выпадает в течение нескольких часов и распространяется на большую площадь. Он выпадает из слоисто-дождевых и высокослоистых облаков, бывает непрерывным или с короткими перерывами. Облака при этом в большинстве случаев покрывают все небо сплошным однородным слоем. Капли обложного дождя имеют диаметр от 0,5 до 7 мм. При этом даже самые мелкие капли бывают настолько тяжелы, что падение их явно заметно.

*Ливневой дождь* характеризуется внезапною началом и конца выпадения, кратковременностью его наиболее интенсив-

ной части и резкими колебаниями интенсивности выпадения. Ливневой дождь отличается от обложного характером выпадения, общим типом погоды, а не количеством выпавших осадков, которое иногда может быть незначительным. Наиболее интенсивные дожди — ливневого характера.

При ливневом дожде наиболее часто бывают мощные ливневые облака, чередующиеся с прояснениями. Всякий грозовой дождь является ливневым.

*Дождь со снегом* выпадает при положительной температуре, причем с небольшим количеством сильно растаявших снежинок. Понижение видимости от дождя со снегом небольшое. Тающие снежинки, падая на провода и ветви, быстро смываются дождем и не образуют на них снежного покрова. В некоторых случаях количество снежинок столь мало и они настолько пропитаны водой, что с трудом можно уловить их присутствие. Дождь со снегом бывает как обложным, так и ливневым.

Дождь со снегом — это сложное явление, которое удобно рассматривать как два простых явления — дождя и слабого снега.

#### ОБРАЗОВАНИЕ ДОЖДЯ

В ясный летний день часто можно наблюдать отдельные облака, разбросанные по небу в виде больших комков ваты. Это кучевые облака. Они появляются около 10—11 часов, постепенно количество их возрастает, а начиная с 15—16 часов уменьшается. Облака как бы тают и к вечеру совсем исчезают. Никаких осадков они не дают. В жаркий летний день кучевые облака появляются иногда ранним утром, затем начинают быстро расти вверх и достигают вершинами таких больших высот, где в облаке образуются ледяные кристаллики. Тогда можно ожидать, обычно после полудня, грозы с ливневым дождем.

Иногда после устойчивой сухой погоды на горизонте появляются тонкие прозрачные облака. Эти облака постепенно уплотняются, снижаются, становятся более мощными, наконец, закрывают все небо сплошной серой пеленой. Тогда начинается дождь, иногда довольно продолжительный.

Облака, образовавшиеся вследствие конденсации водяного пара, состоят из очень мелких капелек. Эти капельки очень легки, поэтому они падают с очень небольшой скоростью и часто снова легко уносятся вверх даже слабыми восходящими токами воздуха.

Для выпадения из облака осадков необходимо, чтобы облачные капли достигли большого размера. Рост капель облака может идти путем оседания на них молекул водяного пара, т. е. путем конденсации. Вначале зародышевые капли растут очень быстро: за несколько секунд их радиус увеличивается в 2—3 раза. Когда диаметр капель станет больше 0,02 мм, их рост замедляется. Требуется очень много времени, чтобы путем конденсации ка-



пельки в облаках приобрели размер, при котором бывает дождь (от 0,5 мм в диаметре). Следовательно, процесс конденсации оказывает заметное влияние только на рост мелких капель, до 0,1 мм диаметром.

Процесс роста более крупных капелек идет более быстро путем коагуляции, т. е. путем слияния капель при их соударении. В зависимости от струек воздуха и скорости падения капли в облаке находятся в постоянном движении; они временами сталкиваются между собой и, сливаясь, образуют более крупные капли.

Таким образом, облачные капли сначала растут вследствие конденсации, а затем — преимущественно вследствие коагуляции. Однако для того чтобы капля выросла до размера дождевой, требуется мощность облака в несколько километров. Из более тонкого облака капля может выпасть, не достигнув достаточно большого размера. В этом случае она, не долетев до земли, испаряется. Тогда наблюдаются под облаком серые дождевые полосы, не доходящие до земной поверхности. Под действием ветра эти полосы часто имеют косое или искривленное направление.

При мощности облака в несколько километров его вершина будет находиться уже в области отрицательных температур. Следовательно, капли окажутся переохлажденными. В облаке, кроме них, будут возникать кристаллы льда. Начнется перекачка пара с капель на кристаллы. Этот процесс роста снежинок столь интенсивен, что капли будут не только расти до размера дождевых, но даже, наоборот, — уменьшаться и совсем испаряться. Вместо дождя из верхней части облака будет выпадать снег, который в нижних, более теплых слоях воздуха тает и достигает земной поверхности уже в виде дождя.

Так происходит развитие дождя в умеренных широтах, где на высоте нескольких километров температура всегда ниже 0°. Но в тропических странах облака успевают вырасти до большой мощности, находясь целиком в слоях атмосферы с положительной температурой. Здесь капли облака вырастают до размера дождевых только вследствие коагуляции, поэтому и дождь наблюдается коагуляционного, а не снегового происхождения.

Коагуляционные дожди, минуя снеговую стадию развития, бывают в Советском Союзе почти только в виде крайне мелких морозящих дождей. Они выпадают из слоистых облаков мощностью в несколько сотен метров.

Если морось выпадает из чисто водяного облака, то обложные и ливневые дожди образуются только в облаке, состоящем из капель и ледяных кристаллов. И в том и в другом случае для образования одной капли дождя или соответствующего размера снежинки требуется множество мелких капель.

Любой дождь образуется обязательно из облака. Дождей из ясного неба не бывает. Между тем даже в научной литературе

время от времени появляются сообщения о выпадении дождя «из ясного неба». Это ошибка наблюдений. В таких случаях, очевидно, имел место процесс быстрого распада ливневых облаков. Пока капли ливневого дождя доходили до земли, облако успевало испариться или его небольшие остатки уносились ветром далеко в сторону и наблюдатель не успел их заметить. Последнее особенно естественно при ночных наблюдениях, на которые приходится большинство описаний дождя при ясном небе.

Наименьшее количество воды дает, конечно, морось. Слой воды от выпавшей мороси чаще всего заключается в пределах от 0 до 1 мм.

Обложные и ливневые дожди дают приблизительно одинаковое количество воды. Непродолжительный и слабый ливневой дождь дает воды лишь немного больше, чем сильная морось. Зато наибольшей интенсивностью обладает сильный ливневой дождь.

На земном шаре известны случаи, когда за одни сутки при ливне выпадал слой воды толщиной более 1 м (Индия, Филиппины) или за 20 минут слой дождя составлял 20 см. Подобное количество воды не может втиснуться в имеющиеся русла ручьев, канав или просочиться в почву. Вода сплошным потоком течет по земле, скапливается в понижениях рельефа местности, вызывая наводнения и размывы наземных сооружений. В горах при этом происходят оползни, развиваются грязевые потоки. Например, летом 1939 г. в г. Сочи после ливня верхний слой почвы вместе с растительностью сполз вниз. В результате этого на железнодорожном пути оказались полосы смещенного с откоса леса, на пляже под обрывистым лесистым берегом среди галек кое-где возвышались смытые деревья, из-под которых местами торчал раздавленный пляжный инвентарь.

Грязевые потоки особенно распространены в горах, где они сносят даже каменные дома и превращают культурное поле в пустыню.

Ливень выпадает из отдельного кучево-дождевого облака, поэтому ливень проходит узкой полосой. Известны случаи, когда в одном из районов большого города проходит ливень, вызывая разрушения, а в другом сияет солнце. В городах с асфальтированными улицами ливневая вода не проникает в почву и устремляется в канализационную систему. Последняя не может иногда вместить всей массы воды, и тогда по асфальтированным улицам текут настоящие реки, на которых плывут случайно подхваченные доски, ящики, столы, а иногда и небольшие ларьки-киоски. При этом заливаются полуподвальные помещения.

Борьба с вредными действиями ливня заключается в правильном расчете канализации и в своевременном предупреждении о ливне.

В Советском Союзе наибольшее количество воды выпадает на восточном побережье Черного моря. В Батуми за год осадки

дают до 2,5 м слоя воды. Восточнее, в области средиземноморских пустынь, дождей выпадает крайне мало. С поверхности Каспийского моря, расположенного в области пустыни, ежегодно испаряется слой воды толщиной в 1 м. Эта убыль воды пополняется реками, в первую очередь р. Волгой. Наибольшее годовое количество дождя на земном шаре приходится на местности с жарким и влажным климатом. В Индии у подножья Гималайских гор есть места, где в некоторые годы слой осадков бывает толщиной свыше 16 м.

### ЦВЕТНОЙ ДОЖДЬ

Грозовой дождь, связанный с мощным восходящим движением воздуха, иногда следует за пыльной бурей. В этом случае пыль поднимается мощным восходящим потоком в облако, оседает на его каплях, окрашивает их и вместе с ними выпадает на землю в виде черного, красного или «серного» дождя. Последний отличается желтоватым цветом. Серным его назвали много столетий тому назад за его внешний вид. Пример подобного дождя наблюдался недавно вблизи г. Воронежа. Работники экспедиции были удивлены желтоватым ливневым дождем, после которого лужи оказались покрытыми слоем желтоватого вещества. Исследование показало, что это была пыльца хвойных деревьев. Учтя направление движения ветра было определено, что пыльца была поднята бурей с соснового бора в 15 км от места наблюдения желтого дождя.

Подобный случай был описан наблюдателем пустынной гидрометеорологической станции Л. И. Сергеевой. Во время пыльной бури выпал редкий крупнокапельный ливневой дождь, капли которого были настолько насыщены пылью с лесовой почвы окружающих пустынь, что создавалось впечатление грязных брызг, падения какого-то насыщенного глиной раствора, оставляющего грязный след при ударе капли. Облака вырисовывались как клубы пыли кучевой формы. При плохой видимости наблюдались лишь разорванные низкие облака на фоне оранжевой пыли и только иногда можно было различить кучевые облака оранжевого цвета. Сама пыль проходила тоже клубами. Ливневой дождь, продолжавшийся 22 минуты, все время был цветным. Помутнение воздуха было столь большим, что в течение всего дня видимость была плохой, а воздух — оранжевого цвета.

Судя по уменьшению видимости при увеличении скорости ветра, можно заключить, что пыль, дававшая оранжевую окраску каплям дождя, была поднята здесь же, а не заносилась издалека. Бурная конвекция вела к подъему больших масс пыли вверх, давая совмещение клубов пыли с водяными облаками. В результате этого появлялись запыленные кучевые и ливневые облака оранжевого цвета.

## МОРОСЬ И ДОЖДЬ ПРИ МОРОЗЕ

Морось и дождь при морозе обладают совершенно особым свойством — быстро замерзать от соприкосновения с наземными предметами. Вода капель при этом находится в переохлажденном, неустойчивом состоянии.

Долгое время никто не мог объяснить причин образования гололеда и переохлажденный дождь называли ледяным, что неверно. Дальше будет дано описание ледяного дождя, выпадающего в виде ледяных шариков.

В настоящее время точно еще не известны границы естественного переохлаждения дождя в зависимости от размера его капель. Еще несколько лет тому назад считалось, что гололед может возникать только при слабом морозе в  $1-3^{\circ}$ . Теперь уже выявлены случаи выпадения переохлажденной мороси и слабого дождя при температурах до  $-16^{\circ}$ .

Выпадение мороси при отрицательной температуре воздуха представляет собой самостоятельное метеорологическое явление, называемое *морось при морозе*. Оно вызывает образование гололеда на проводах, ветвях и других предметах. Температура воздуха при этом может быть от  $-1$  до  $-16^{\circ}$ .

*Дождь при морозе* выпадает при отрицательной температуре воздуха. Он также вызывает образование гололеда на проводах, ветвях и других предметах. Температура воздуха при подобном дожде может быть от  $-1$  до  $-10^{\circ}$ , а при слабом — даже до  $-16^{\circ}$ . Дождь при морозе иногда сопровождается выпадением снега. Это два различных явления, развивающихся совместно. Их надо рассматривать как переохлажденный дождь и снег в отдельности.

## ТВЕРДЫЕ ОСАДКИ

Образование снежинок и других твердых осадков происходит в высоких слоях атмосферы повсеместно, над всеми областями земного шара. Выпадение же их на землю происходит только там, где нижние, прилегающие к земной поверхности слои воздуха настолько холодны, что снежинок, опускаясь через них, не тают. Град, правда, может выпадать и в жаркую летнюю погоду, но градины должны быть значительного размера, чтобы, ставая и испаряясь с поверхности в теплых приземных слоях, все же достигнуть земли в виде ледяного образования. На равнинах экваториальных стран град не выпадает, — он тает в воздухе при падении.

## СНЕГ

Кто не любовался в тихую морозную погоду медленным падением отдельных снежных звездочек, обладающих красивым тонким ледяным узором. Но снег не всегда выпадает в таком виде. Когда погода особенно тихая, мороз слабый, а ливневые облака достаточно мощные, то снежные кристаллики во время падения

успевают во множестве сцепиться друг с другом и достигают земной поверхности в виде больших пушистых хлопьев снега. Они рыхлые и легкие, падают медленно, так как обладают большой поверхностью и поэтому испытывают сильное сопротивление воздуха. Весной 1944 г. в Москве выпадали хлопья размером до 10 см, они были похожи на небольшое блюдце и при падении медленно кружились. Такая снежинка, падая на черный тротуар, давала большое белое пятно и походила на брошенный снежок. В Сибири и в других местах земного шара наблюдались снежные хлопья диаметром до 30 см. Они походили на шапку из белого пушистого меха и падали очень медленно. Даже редкие выпадения таких хлопьев быстро создавали высокий покров рыхлого снега.

Необходимым условием образования крупных хлопьев снега является спокойный воздух. Ветер, особенно порывистый, разрывает такие хлопья на отдельные части. Также необходимо, чтобы снежинки имели возможность долго находиться в воздухе. Тогда они совершают многократные движения вверх и вниз в ливневом облаке и имеют возможность сцепляться в большом количестве. Поэтому крупные хлопья выпадают только из ливневых облаков.

В марте 1939 г. жители Ростова-на-Дону были поражены необычайным явлением. При очень сильном ветре, доходившем до бури, небо, покрытое тучами, стало темнеть настолько, что днем пришлось зажигать свет. И вдруг в этом необычном, как бы сумеречном свете замелькали довольно крупные снежные хлопья, но не привычного ослепительно белого цвета, а бурой, красноватой окраски. Температура воздуха была положительной, снег быстро таял, оставляя на лицах людей струйки грязи, а на модных тогда белых беретах — коричневатые пятна. В окрестностях белые стены хат, обращенные к ветру, стали неузнаваемо бурыми. Подобное явление отмечалось ранее в Тамбовской области и в других местах. Снег наблюдался тогда довольно яркокрасного или черного цвета.

Причина возникновения этого редкого явления, как и цветного дождя, проста. Сильная буря, связанная с прохождением ливневого облака, подняла пыль, так как снежный покров в этих районах уже сошел. Пыль была втянута внутрь облака, где и осела на снежинках. В районе нижнего течения р. Дона много глины, а она в растворе приобретает бурый цвет. Снежинки были подкрашены глинистым раствором и потому выпадали бурыми. Естественно, что при наличии другой почвы окраска снежинок может меняться от яркокрасной (красная глина) до черной (чернозем). Отметим, что пыль не заносилась издалека, и поднималась бурей тут же, вблизи места выпадения. Потемнение было вызвано надвижением мощного ливневого облака, к тому же сильно запыленного.

В литературе иногда указывается, что шестилучные звездочки являются единственной характерной формой снежинок, но

это не совсем так. Стоит присмотреться к снежинкам, особенно через увеличительное стекло или микроскоп, как окажется, что, кроме преобладающей формы — шестилучевой звездочки, имеется еще три вида форм снежинок: шестигранные столбики, иглы и тонкие шестигульные пластинки (рис. 15). В условиях

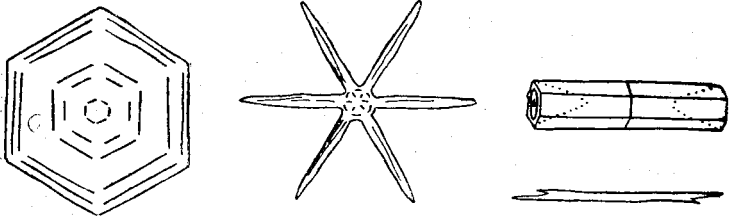


Рис. 15. Четыре основные формы снежинок: пластинка, звезда, столбик и остроконечная игла.

слабого пересыщения воздуха водяным паром зародышевый кристаллик будет развиваться медленно, но равномерно по всем направлениям и в результате образуется шестигульная пластинка или шестигранная призма.

Если же воздух, в котором падает кристаллик, будет сильно пересыщен паром по отношению к ледяной поверхности, то рост

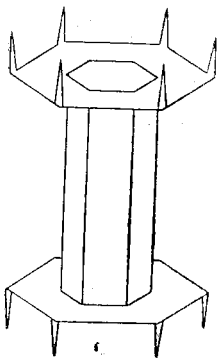


Рис. 16. Снежинка сложной формы: иглы покрывают пластинки, выросшие на столбике.

кристаллика будет идти быстро и прежде всего на его выступах, на углах. Углы перерастают в ветви, и весь кристаллик продолжает расти и превращается в снежинку — звездочку. Но иногда выпадают несравненно более сложные, поистине необычайные формы снежинок. Например, призмочка на концах имеет пластинки, образующие подобие пары шестигульных колес с осью. На наружной стороне этих пластинок в строгом соответствии располагаются иглы (рис. 16). Такие снежинки не являются исключением, они образуют устойчивый снегопад. Эта форма была отмечена философом Э. Бартолини триста лет тому назад, затем подробно описана в конце прошлого века в Петербурге Н. В. Каульбарсом и в настоящее время неоднократно наблюдалась в Ленинграде.

Есть и другие сложные формы снежинок (рис. 17). Они образуются не случайно, так как одновременно выпадают массы снежинок только одной какой-нибудь формы. Снежинки сложных форм образуются постепенно, нарастая и усложняясь в различных по высоте ярусах облака.

Зимой это любопытное творчество природы позволяет делать удивительные открытия в этом небольшом ледяном мире. Изу-

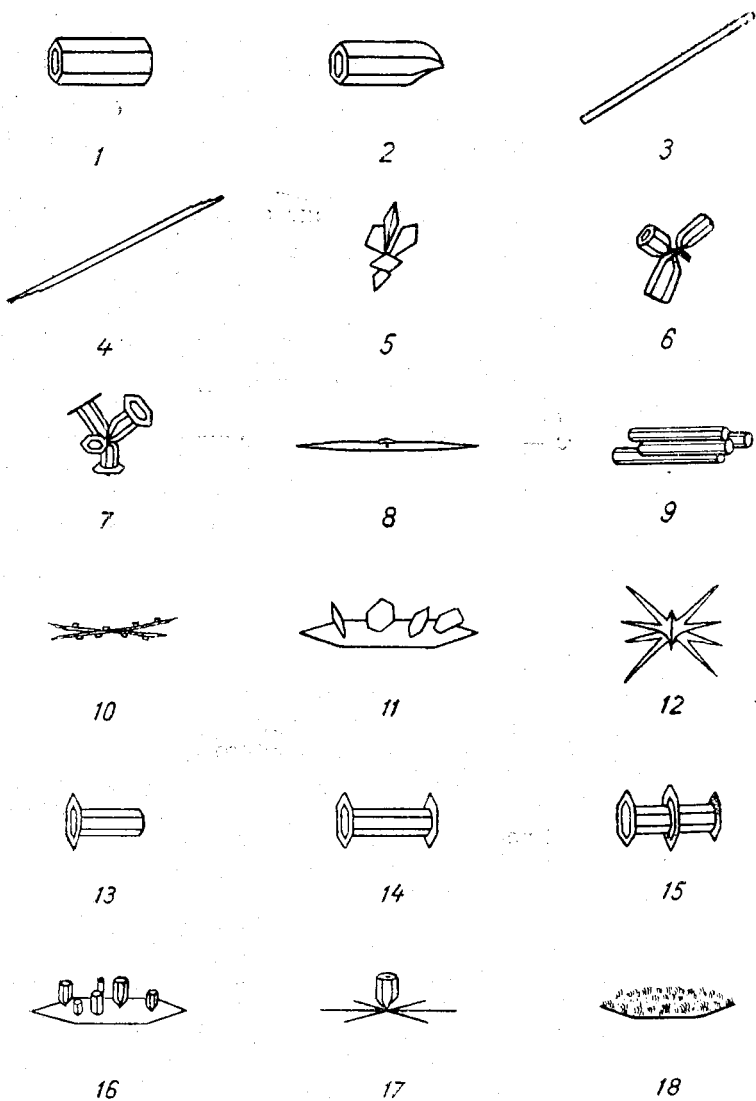


Рис. 17. Схематическое изображение некоторых наиболее характерных форм снежинок:

1 — столбик, 2 — бутылочка, 3 — тупоконечная игла, 4 — остроконечная игла, 5 — еж пластинчатый, 6 — еж бутылочковый, 7 — еж запонковый, 8 — батарея пластинчатая, 9 — батарея столбчатая, 10 — батарея игольчатая, 11 — пушинка пластинчатая, 12 — правильная звездчатая пушинка, 13 — запонка пластинчатая, односторонняя, 14 — запонка пластинчатая, 15 — запонка двойная пластинчатая, 16 — пластинка с бутылочками, 17 — звездочка с бутылочкой, 18 — пластинка зернистая.

чение строения снежинок имеет большое научное значение. В этом строении запечатлевается процесс формирования снежинки, связанной со свойствами облаков в разных слоях атмосферы.

Количество снежинок, находящихся одновременно в воздухе, может колебаться от одной снежинки на десятки кубических метров до многих тысяч их в одном кубическом метре воздуха.

**Отдельные ледяные кристаллы**, выпадающие при ясном небе и имеющие различные невооруженным глазом размер и форму, а также многочисленные мелкие кристаллы, плавающие в воздухе, называются не снегом, а *ледяной пылью*.

В характере снегопада, так же как и в выпадении дождя, различают три вида.

*Снежная морось* выпадает в виде мелких снежинок из слоистых облаков. В зависимости от условий образования слоистых облаков из них могут выпадать снежинки в виде пластинок, игл или снежных зерен.

*Обложной снег* — это снегопад без резких колебаний его интенсивности, выпадает из сплошного однородного облачного покрова. Обычно выпадение обложного снега происходит из слоисто-дождевых облаков в течение нескольких часов непрерывно или с короткими промежутками.

*Ливневой снег* характеризуется внезапностью начала и конца выпадения, резкими колебаниями интенсивности и большими хлопьями. При ливневом снеге наиболее часто бывают ливневые облака, чередующиеся с кратковременными прояснениями.

При низких температурах можно наблюдать *снег без облаков* — это густо падающие ледяные кристаллы размером более 1 мм. Небо при этом может быть подернуто просвечивающей белесой пеленой.

Снегопад при ясном небе обычно бывает непродолжительным, не более 1—2 часов, и обладает малой интенсивностью, т. е. дает небольшое количество осадков. Он отличается от ледяной пыли и большей интенсивностью, вследствие чего предметы заметно покрываются снегом.

Снег без облаков отличается от обычного снегопада отсутствием облаков в широкой околоризнитной области неба. Это довольно редкое явление, за исключением Сибири, где такой снег зимою выпадает часто и в течение продолжительного времени, но имеет и там небольшую интенсивность. Поэтому он дает ничтожное приращение снежного покрова.

## СНЕЖНАЯ КРУПА И СНЕЖНЫЕ ЗЕРНА

Снежной крупой называют белые непрозрачные снежные комочки округлой формы, хрупкие, легко расплющиваемые пальцами.

Снежная крупа довольно разнообразна по форме и размеру. Но всегда она имеет вид матово-белых комочков снега бесформенного строения и без различных кристаллических граней.



Плотность каждой крупинки составляет несколько больше 0,1 по отношению к плотности воды. При ударе о твердые предметы они отскакивают, а не разламываются.

Размер крупинок колеблется от 1 до 15 мм. Мелкие крупинки имеют неправильную форму, а большие — форму шара с отгнутым в одну сторону конусом.

Снежная крупа размером более 1—2 мм называется собственно *снежной крупой*, а мелкая крупа размером около 1 мм и менее называется *снежными зернами*.

Снежная крупа выпадает только из ливневых облаков. Крупные зерна крупы выпадают в виде ливня из типичных ливневых облаков при температуре около 0°, а чаще даже при небольшой положительной температуре.

28 октября 1949 г. в Ленинграде выпала снежная крупа в виде катышков несколько конической формы с поперечником, достигавшим 15 мм. Это была снежная крупа предельно большого размера. Выпала она из ярко выраженного мощного ливневого облака при температуре воздуха несколько выше 0°.

Мелкая снежная крупа выпадает при более низких температурах, вплоть до —15°, из неразвитых ливневых облаков, но интенсивность ее выпадения довольно сильно колеблется и в этом случае.

Снежные зерна выпадают из слоистых и слоисто-кучевых облаков более равномерно, чем снежная крупа. В последнем и заключается их основное различие, кроме размера частиц и форм облаков, из которых они выпадают. Снежные зерна наблюдаются обычно при температуре —5, —10°, иногда вплоть до —15°, но также и около 0°. При наличии среди снежных зерен хотя бы небольшого количества снежной крупы осадок следует считать крупой, а не зернами.

Погодные условия выпадения и строение крупы дают возможность разобраться в образовании этого осадка.

Восходящие течения в ливневом облаке ведут к быстрому увеличению переохлажденных капель, несмотря на перекачку пара на снежинки. В результате этого в средних частях облака получается смесь крупных капель и снежинок. Они соприкасаются друг с другом, и кристалл снега (обычно звездчатой формы) обростаёт ледяными зёрнами (рис. 18). После достаточного утяжеления крупинка преодолевает сопротивление восходящего потока воздуха и выпадает из облака.

Снежные зерна образуются в верхних частях слоистых и слоисто-кучевых облаков, где капли наиболее крупные, часть из них имеет диаметр более 0,02 мм. Столь большие капли возникают здесь вследствие очень сильного охлаждения облака излучением тепла с его верхней части, а также вследствие общих условий переноса влаги вверх. Поэтому здесь создаются наиболее благоприятные условия для роста капель. Однако весь процесс развития кристаллов и укрупнения капель в слоисто-кучевом облаке протекает

несравненно медленнее, чем в ливневом облаке. Кристаллы возникают здесь небольшие, пространственно разветвленной, а не плоской звездчатой формы, и на них намерзают мельчайшие переохлажденные капли.

Число замерзших капель, входящих в состав крупинки среднего размера, составляет тысячи и десятки тысяч. Наибольшие крупинки заключают в себе сотни тысяч зерен. Их микростроение показывает, как строится капля дождя, собирая в себе тысячи более мелких капель.

Снежная крупа образуется на основе кристалла, так же как и зернистая изморозь на предмете. Можно сказать, что снежная крупа — это зернистое обледенение снежного кристалла.

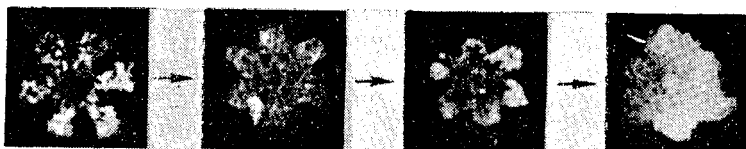


Рис. 18. Звездчатая снежинка, покрываясь замерзающими каплями облака, постепенно переходит в снежную крупу (увеличено в 4 раза).

На вопрос: есть ли в свободной атмосфере подобие кристаллической изморози — можно ответить утвердительно. Кристалл снега довольно часто покрывается сублимационно выросшими кристаллами другой формы или той же формы, но выросшими в беспорядке.

Описание таких снежинок см. на стр. 46. Они наиболее сходны с наземной кристаллической изморозью, только роль предмета, на котором отлагается изморозь, выполняет сам правильный кристалл льда.

#### ГРАД

Плотные льдинки прозрачного или матово-белого цвета, выпадающие из ливневых облаков при положительной температуре воздуха, называются *градом*. Отдельная льдинка называется *градиной*.

Размер градин бывает от нескольких миллиметров до десятка сантиметров в поперечнике. Мелкий град называется *ледяной крупой*. Она представляет собой полупрозрачные, округлые, иногда конусообразные зерна, не хрупкие и не разминаемые пальцами.

Таким образом, ледяная крупа — это мелкий град, который выпадает из ливневых облаков при небольшой положительной температуре воздуха (ниже  $10^{\circ}$ , обычно около  $5-7^{\circ}$ ). Для отличия от града принято считать, что размер частиц ледяной крупы

не превосходит 5 мм. Выпадение более крупных частиц уже принимается за град. Смесь ледяной крупы и града считается градом. Ледяная крупа отличается от снежной своим ледянистым, а не снеговидным строением и большой плотностью.

Град выпадает из ливневых облаков при значительной положительной температуре воздуха (обычно выше 10°). Размер градин превышает 5 мм в диаметре и иногда доходит до 5—10 см и более.

Градины бывают неоднородными по строению; в них чередуются прозрачные и мутные слои льда. Крупные градины иногда содержат в себе пыль, мусор, насекомых и т. п. Очень крупные градины обычно состоят из нескольких смерзшихся более мелких градин.

В умеренных широтах чем выше температура воздуха перед выпадением града, тем крупнее градины. Обильный и крупный град почти всегда выпадает во время грозы и бури. Выпадение града может дать на земле покров льда.

Град выпадает из наиболее мощных ливневых облаков. Эти облака простираются до большой высоты. Подъем воздуха в основном вызывается двумя причинами. Первая из них — воздух, нагретый более теплой поверхностью земли, становится более легким и струйками поднимается вверх, где охлаждается, а содержащийся в нем водяной пар конденсируется. Вторая причина — холодная масса воздуха приходит на место, которое прежде было занято прогретой теплой массой, и, как более плотная, располагается внизу, подтекая в виде гигантского клина под теплый воздух и бурно поднимая его вверх, где и происходит образование облака.

Вместе с восходящей струей воздуха облако растет все выше и выше. Оно достигает слоев атмосферы с отрицательными температурами на высоте нескольких километров над землей. Эту высоту отмечают летчики или приборы, поднимаемые в атмосферу, — радиозонды.

Подъем воздуха и развитие облака продолжают и в области отрицательных температур. Капли продолжают оставаться жидкими, находясь в неустойчивом переохлажденном состоянии до температур  $-10$ ,  $-20^{\circ}$ . При этом они не только образуются, но и растут вследствие оседания на них водяного пара и от слияния друг с другом. Если при образовании облака диаметр капель едва достигал 0,01 мм, то теперь в облаке, имеющем мощность в несколько километров, диаметр многих капель превосходит 1 мм.

Укрупнение переохлажденных капель происходит до известного предела, зависящего от их размера, температуры воздуха и скорости восходящего потока. Наступает момент, когда капли начинают замерзать. Так образуются зачатки градин. Постепенно обрастая льдом от замерзания переохлажденной воды, зачаточная градинка, имеющая вид снежной крупинки, растет и, нако-

нец, становится настолько большой, что ее уже не может удерживать восходящая струя воздуха; градина начинает падать.

Это еще маленькая градина, или, правильнее, снежная крупинка. Падая вниз в область переохлажденных капель более крупного размера, соударяясь с ними, она покрывается ледяной коркой, плотность которой зависит от размера капель. Чем они мельче, тем корка более пориста. Микроскопические пузырьки воздуха придают ледяной крупе мутный, непрозрачный вид. Последующее наслоение льда образуется из намерзания все более крупных капель, которые дают сглаженную поверхность прозрачного слоя градины.

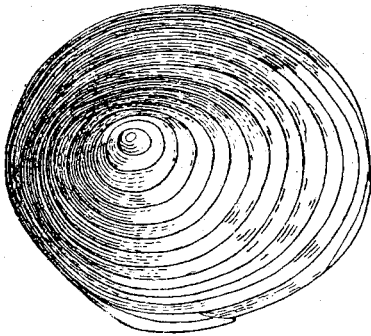


Рис. 19. Полурастаявшая градина, у которой видно слоистое строение, вызванное многократными подъемами и спусками градины в облаке.

Таким образом, чем выше в облаке нарастает на градину лед, тем он рыхлее. Поэтому середина градины снеговидная, а наружная часть, vznikшая внизу облака, — стекловидная.

Часто бывает, что градина, уже приблизившаяся к основанию облака, снова подхватывается мощной струей воздуха и заносится на большие высоты в верхнюю часть облака. Здесь снова градина обрастает снеговидным слоем зернистой изморози или более плотным слоем непрозрачного льда, а затем при дальнейшем падении снова происходит нарастание прозрачного слоя

льда. Так возникает слоистое строение градины (рис. 19). Число слоев может иногда доходить до 20, указывая на десять подъемов и десять спусков градины в процессе ее роста.

Выпадая, наконец, из облака и проходя теплый приземный слой воздуха, градина обтаивает с поверхности и покрывается слоем воды.

Каждый из нас видел град. Многие, повидимому, уже обращали внимание на то, что чем холоднее погода, тем мельче выпадают градины.

В переходные сезоны выпадают градинки в 3—5 мм в диаметре, а наиболее крупный град бывает всегда в разгаре лета. В. С. Веселовский еще в XIX в. собрал обширные сведения о градобитиях в России. Из его исследования вытекает, что на пространстве Европейской территории СССР ежегодно где-нибудь выпадают градины весом в 400 г, т. е. имеющие поперечник около 10 см.

Совсем недавно, 24 мая 1948 г. в Армении на высоте более 1300 м над уровнем моря выпал сильный град. Размер отдельных градин доходил до 10 см при весе до 400 г. 13 июля того же

года в поселке Таргын (Восточный Казахстан, высота 700—800 м над уровнем моря) выпали градины весом до 300 г.

Они сбивали штукатурку, выбивали стекла и обламывали ветви деревьев толщиной до 5 мм в диаметре.

Встреча самолета со струей града иногда кончалась аварией. Обшивка самолета пробивалась, ветровое стекло разламывалось, удары градин ранили летчика и он вынужден был выбрасываться на парашюте из поврежденной машины.

Наибольший вес градины, из всех отмеченных в мировой литературе, был около 10 кг, что соответствует ее поперечнику в 30—40 см. Согласно сообщению «Журнала министерства внутренних дел» в 1850 г. в Нухинском округе (Азербайджан) выпали градины, пробивавшие 7 рядов камыша на крышах и весившие по проверенным данным до 25 фунтов (около 10 кг). Градины весом даже в 300—400 г производят большие разрушения.

Град 8 июня 1843 г. повредил на территории современной Днепропетровской области много домов и мельниц, тяжело ранил 28 человек, убил наповал 120 овец и т. д. 29 июня 1904 г. в г. Москве градины при ударе о почву зарывались в нее на глубину 6 см. В ряде случаев град пробивал новые железные крыши, кузова легковых автомашин, цементные крыши толщиной до 7 мм.

Градины даже несравненно меньшего размера (например 1 см в поперечнике и весом около 1 г) могут уничтожить посевы, особенно в стадии их созревания. Град губит фруктовые сады и виноградники, обрывая на них листья и обламывая ветви.

Огромные скорости восходящего потока воздуха, наблюдающиеся при граде, приводят к тому, что вихрями поднимаются с поверхности земли различные предметы и заносятся в облако, где они обледеневают, покрываясь коркой льда. 2 мая 1910 г. в Тосно выпала градина, внутри которой находился камень, весом в несколько граммов. В одном из пунктов Узбекистана в 1937 г. выпал красный град. Внутри градин оказались жучки «божьи коровки», которые потом ожили. Довольно часто внутри градин находят солому, траву и другие предметы. В одном случае выпала черепаха длиной в 20 см и шириной 15 см, покрытая льдом. Совсем недавно имел место случай, когда в облако был затянут парашютист с раскрытым парашютом. Его подняло на большую высоту, где он обледенел и испытал бедствие.

В природе иногда наблюдается взрывчатый град. Градины с треском разлетаются на куски при ударе о землю или еще находясь в воздухе. Это явление разгадали В. Дудецкий и И. Сидоров, которые в 1910 г. в Томске сбрасывали при морозе до  $-45^{\circ}$  капли воды с высокой башни. Капли замерзали на лесу и на землю падали градинки, которые иногда взрывались. Причина этого явления заключается в том, что замерзание капли начинается снаружи. Капля покрывается ледяной коркой, внутри которой находится жидкая вода. Эта вода, замерзая, расширяется и разрывает внешнюю ледяную оболочку.

Град — вредное явление. Наука изыскивает пути борьбы с ним. В настоящее время ученые ищут средство уничтожить самую причину града — градовое облако.

Как известно, в XIX в. было большое увлечение методом уничтожения градовых облаков стрельбой из пушек. Этот научно не обоснованный метод, довольно широко практически применявшийся, не давал, конечно, желательных результатов.

## ЛЕДЯНОЙ ДОЖДЬ

В быту часто называют холодной воду с температурой около 0° ледяной водой. Также и про холодный дождь при температуре несколько выше 0° иногда говорят, что он ледяной. Но это только образное выражение. Физического смысла оно не имеет. Между тем в природе наблюдаются действительно *ледяные дожди*, когда выпадают мелкие ледяные частицы округлой или неправильной формы. Они возникают от оледенения обложного дождя или полурастаявшего обложного мокрого снега. При этом на большой высоте над поверхностью земли простирается слой теплого воздуха, в котором обтаивают падающие снежинки, а непосредственно у земной поверхности располагается слой воздуха с отрицательной температурой (см. рис. 8).

Ледяной дождь имеет два вида — оледенелый снег и замерзший дождь.

*Оледенелый снег* — это неправильные мельчайшие кусочки льда, еще частично сохранившие форму снежинки и выпадающие из слоисто-дождевых облаков. Обычный размер их 1—3 мм.

Оледенелые снежинки не имеют правильных плоских кристаллических поверхностей. Форму снежинки, из которой они произошли в результате обтаивания и последующего замерзания, определить трудно. Явление это редкое.

Мелкие ледяные шарики, выпадающие из слоисто-дождевых облаков, — это *замерзший дождь*. Размер их бывает 1—3 мм, иногда меньше, иногда значительно больше, вплоть до 20 мм в крайне редких случаях.

Форма частичек ледяного дождя чаще всего бывает округлой. Эти крохотные льдинки могут состоять из нескольких или даже многих прозрачных шариков и потому в целом имеют неправильную форму или матовый вид. В них нельзя отметить никаких следов внешней кристалличности. Отличие ледяного дождя от ледяной крупы заключается не столько в форме частицы, сколько в типе погоды: в первом случае осадок обложного характера, во втором — ливневого.

Ледяной дождь был впервые подробно изучен и выделен из других видов осадков Касьяном Жуком в конце XIX в. в Киеве. До этого ледяной дождь ошибочно смешивался с ледяной крупой. Метеорологическая сеть начала его регистрацию в России с 1915 г. на основе работ К. Жука и аэрологических исследований усло-

вий выпадения ледяного дождя, проведенных И. Б. Шукевичем в 1911 г.

Приведенные выше опыты с искусственным воспроизведением взрывчатого града являются по существу опытами над получением ледяного дождя.

Ледяной дождь выпадает иногда вместе с незамерзшими переохлажденными каплями дождя, тогда на наземных предметах нарастает гололед с вмержшими в него льдинками ледяного дождя. Бывает и так, что льдинки имеют внутри жидкое ядро. При ударе они раскалываются, а вытекающая вода замерзает.

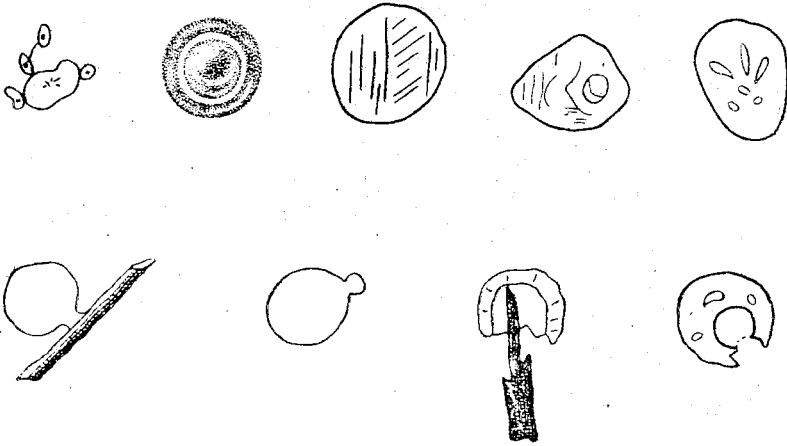


Рис. 20. Первая зарисовка частиц ледяного дождя, сделанная К. Жуком в конце прошлого века. Видны округлые льдинки неправильной формы и одна в виде шара. Некоторые льдинки имеют форму скорлупки.

Рисунки ледяных скорлупок, надетых на былинки, были опубликованы в 1902 г. К. Жуком (рис. 20).

Ледяной дождь дает мало осадков. Но иногда он дает слой около 10 см, как это имело место в 1919 г. в Ростове-на-Дону. В отличие от снега он не слеживается и сани прорезают сыпучую массу до земли. По такому покрову неудобно ехать на телеге и нельзя на санях.

Ледяной дождь выпадает в умеренных широтах почти всюду, но неодинаково часто.

#### ПОКРОВ ТВЕРДЫХ ОСАДКОВ

Выпадение твердых форм осадков создает на поверхности почвы покров, который является особым атмосферным явлением. Наиболее распространен покров из снега. Иногда наблюдается и покров из других осадков: града, снежной крупы и ледяного дождя.

Снежный покров, его свойства и значение для различных отраслей народного хозяйства изучены подробно.

Покров града иногда достигает 30—40 см, но неустойчив и быстро тает. О величине покрова ледяного дождя уже было сказано. Снежная крупа также создает покров небольшой толщины, мало отличающийся по своим свойствам от снежного.

Покров из града имеет внутри температуру ниже  $0^{\circ}$ , так как внутри градин наблюдались температуры ниже  $-5^{\circ}$ .

## Глава VI

### ТУМАНЫ

В приземном слое атмосферы часто наблюдается переход водяного пара в жидкое состояние, вследствие чего образуется туман или дымка.

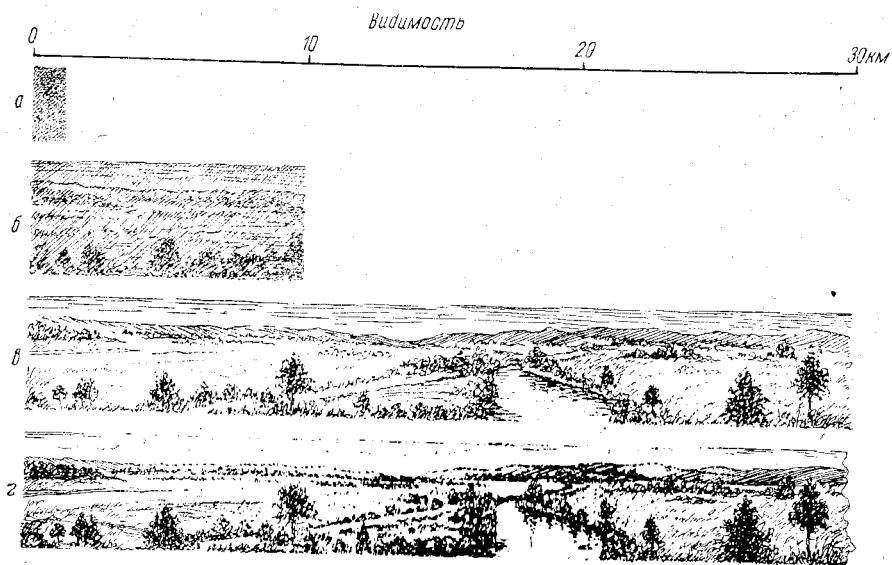


Рис. 21. Предельная видимость: а) туман (1 км), б) дымка (10 км), в) замутненный воздух (30 км), г) незамутненный чистый воздух.

В метеорологии туманом или дымкой называют скопление в приземном слое воздуха мелких капелек воды, в результате чего уменьшается прозрачность воздуха и ухудшается видимость наземных предметов. Если видимость уменьшается вследствие капельно-жидкого помутнения до 1 км и меньше, то такое явление называют *туманом* (рис. 21). При видимости от 1 до 10 км водяное помутнение воздуха носит название *дымки*. Если видимость заключается в пределах от 10 до 30 км, то такое явление называют *замутненный воздух*, а при видимости больше



30 км — *незамутненный воздух*, который в наблюдательной метеорологии называется *чистым*.

Иногда замутнение воздуха может быть обусловлено наличием в воздухе не продуктов конденсации водяного пара, а присутствием в воздухе твердых частичек пыли или дыма, тогда это явление называют *мглой*.

Туманом принято называть влажное замутнение воздуха, имеющее место у самой поверхности земли. Пелена низких облаков, закрывающая верхушки деревьев, холмов, не считается туманом и отмечается как слоистое облако. Распространенное ее

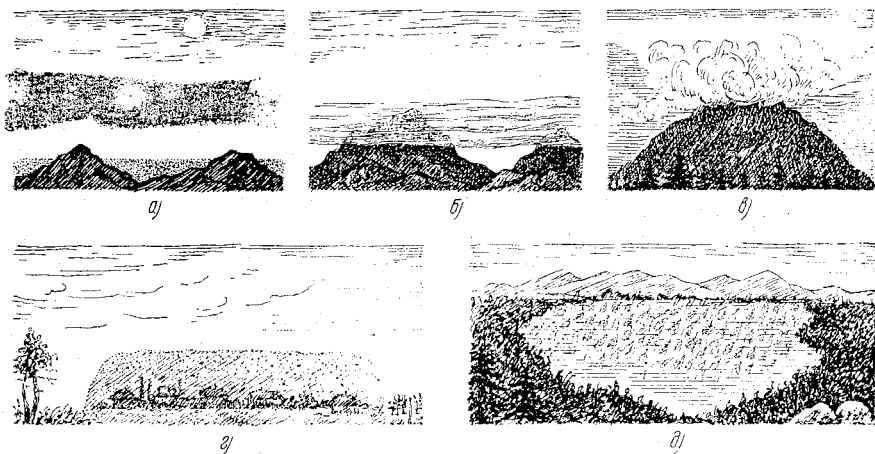


Рис. 22. Туманы, различающиеся по физическим причинам их возникновения: а) радиационный, б) адвективный, в) адиабатический, г) сибирский (поселковый), д) испарения.

название — приподнятый туман — метеорологически неточно. На вершине холма внутри этого низкого слоистого облака помутнение воздуха является типичным туманом, а на дне долины, над которой располагается слой этого тумана, мы наблюдаем слоистое облако.

По основным условиям и причинам образования можно выделить следующие виды туманов: радиационные, адвективные, туманы испарения, поселковые (сибирские) и адиабатические (рис. 22).

Особый вид тумана образуют *городские туманы*. Эти туманы ограничиваются городом и его ближайшими окрестностями. Частичками, на которых здесь сгущаются пары, является дым, кислоты и соли, выделяемые в городах как продукты горения. Благодаря наличию в городских туманах большого количества дыма и частичек угля туманы имеют черный, иногда желтый оттенок. Этим знамениты лондонские туманы. В ясные зимние дни, когда воздух почти насыщен водяным паром, в Лондоне

часто наблюдается густой черный туман. Ранним утром город обычно окутан более светлым туманом, но затем благодаря топке миллионов очагов в воздух выбрасываются огромные массы дыма, газов и кислот. Они осаждаются на уже имеющихся капельках тумана и на них также конденсируется водяной пар.

У городских жителей при тумане слезятся глаза и першит в горле от действия тех кислот, на которых сконденсировались частички тумана.

Благодаря городским туманам значительно сокращается число часов солнечного сияния и резко снижается освещенность.

### РАДИАЦИОННЫЙ ТУМАН

Причиной возникновения радиационного тумана служит сильное охлаждение подстилающей поверхности вследствие ночного излучения. Понижение температуры передается от почвы прилегающему к ней слою воздуха, а отсюда распространяется в более высокие слои. Воздух, охлажденный почвой, а отчасти и в силу собственного излучения, оказывается пересыщенным влагой, и водяной пар начинает выделяться в виде мелких капелек воды.

Образованию радиационного тумана содействуют следующие условия: безоблачное небо, когда лучеиспускание подстилающей поверхности особенно велико, большая относительная влажность в приземных слоях воздуха и безветрие. Наличие слабого ветра содействует перемешиванию охлажденных нижних слоев с более высокими и увеличению мощности тумана.

Поэтому радиационные туманы чаще возникают осенью, когда почва испаряет много влаги, а ночи длинные, но бывают также и зимой. В последнем случае они сопровождаются развитием кристаллической изморози.

Образованию радиационных туманов благоприятствуют и местные условия. В низинах, логах, оврагах, болотистых местах, куда стекает холодный плотный воздух и где также более влажно, радиационные туманы образуются чаще. Это так называемые *поземные радиационные туманы*. Они невысокие. Иногда их высота ниже человеческого роста. Наибольшей плотности они достигают у поверхности земли. Туманы эти неустойчивы. Утром, когда солнце прогреет почву, начинается прогрев прилегающего к почве воздуха и туман рассеивается. Усилившийся с восходом солнца ветер также содействует исчезновению тумана, он разрывает пелену тумана и разносит отдельные клочья его, которые и испаряются в потеплевшем воздухе.

Кроме поземного тумана, различают еще *высокий радиационный туман*, связанный с длительным сильным выхолаживанием воздуха. Этот туман наблюдается в тихие зимние дни при господстве высокого давления. Такие туманы не исчезают и днем. Они достигают мощности 300—500 м.

Иногда такой туман особенно густ на высоте нескольких сот

метров под слоем теплого воздуха и почти отсутствует у поверхности земли. Тогда с земли его отмечают как слоистое облако.

Радиационный туман также наблюдается на вершинных гор. Снизу он имеет вид облака (рис. 23). Такой туман точно и образно описан М. Ю. Лермонтовым в стихотворении «Утес» и в повести «Герой нашего времени»: «Поздно вечером, т. е. часов в одиннадцать, я пошел гулять... С трех сторон чернели гребни утесов, отрасли Машука, на вершине которого лежало зловещее облачко».

Шапка радиационного тумана на вершине Бештау — обычное явление, на Машуке она бывает реже. В том, что Лермонтов отметил именно вершинный радиационный туман, нас убеждают две особенности: ночное развитие и неподвижность этого об-

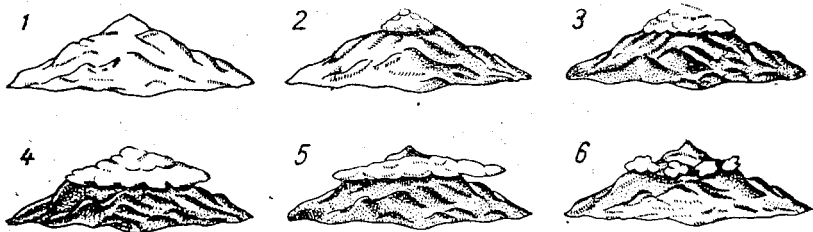


Рис. 23. Радиационный туман на вершине Бештау. Цифрами 1—6 обозначены последовательные стадии тумана: от чуть замутненной вершины в начале (1) до разрушающегося тумана в конце (6).

лака — оно «лежало». Интересно, что эти ночные облака произвели на поэта гнетущее впечатление, которое он выразил словом «зловещее». Такое же впечатление они производят и теперь на приезжающих в район Минеральных Вод.

Позднее, в 1841 г., Лермонтов в стихотворении «Утес» описывает тот же туман-облако, но уже в его утренней разрушающейся стадии, оживленной термической турбулентностью и светом лучей солнца:

Ночевала тучка золотая  
На груди утеса великана;  
Утром в путь она умчалась рано,  
По лазури весело играя.

Радиационный вершинный туман поэт описывает довольно разнообразно в повести «Герой нашего времени»: «... в облаке, которое еще с вечера отдыхало на вершине Гуд-Горы, как коршун, ожидающий добычу... на дворе темно... тяжелые, холодные тучи лежали на вершинах окрестных гор...» Существенно, что всюду имеются отметки неподвижности облака и его неприятный вид: «отдыхало», «как коршун», «лежали», «тяжелые, холодные».

## АДВЕКТИВНЫЙ ТУМАН

*Адвективный туман* возникает в том случае, когда теплый влажный воздух движется из более теплых районов на более холодную подстилающую поверхность, например с юга на север, с теплого моря на холодную сушу. Само слово адвекция — горизонтальный перенос воздушных масс — указывает на причину тумана. При этом температура теплой массы воздуха понижается, водяной пар конденсируется, что и ведет к образованию тумана. Такие туманы нередко образуются зимой, когда начинают дуть теплые ветры.

Образованию адвективных туманов благоприятствуют: большая разность температур между притекающим воздухом и подстилающей поверхностью, большая относительная влажность воздушной массы и умеренная скорость ветра. При сильном ветре будет сильное перемешивание воздушных слоев, что будет препятствовать образованию тумана.

Наибольшая плотность адвективного тумана находится на некоторой высоте над землей, ближе к верхней границе тумана. Этот туман можно рассматривать как слоистое облако, касающееся поверхности земли. В холмистой местности бывает видно закрытие вершин холмов адвективным туманом в то время, как в долинах его нет; над ними находится пелена низких облаков. Более высокие горы выходят из таких облаков и с них открывается чудесный вид на облачное море.

Горизонтальная протяженность адвективного тумана бывает значительной, иногда достигает тысячи километров. Туман возникает в любые часы суток и может удерживаться неделями, как это, например, наблюдается в районах Предкавказья.

Адвективные туманы не наблюдаются при сильных морозах. При небольшом морозе они вызывают образование зернистой изморози.

## ТУМАН ИСПАРЕНИЯ

Клубящийся невысокий туман, иногда довольно густой, появляющийся над водоемом, изредка над влажными участками суши, в холодное время года при похолодании, называется *туманом испарения*. Особенно часто он наблюдается зимой над польнями Арктики. Над сушей туман испарения бывает не только реже, но и выражен несравненно слабее.

Этот вид тумана можно отнести также к адвективным туманам. Причиной его является более теплая поверхность воды, чем слоев воздуха над этой поверхностью. Водяной пар, поднимаясь с водной поверхности и попадая в воздух с более низкой температурой, конденсируется и дает начало туману. Туман испарения над болотами, реками и небольшими озерами при слабых морозах редко бывает интенсивным и, кроме того, он часто бывает поземным, располагающимся в слое менее 2 м высоты.

Например, подобный туман может скрывать пернатую дичь на болоте, если смотреть с лодки по горизонтали. В то же время она может быть прекрасно видна с крутого берега.

Туман испарения также может наблюдаться над теплой влажной почвой, если воздух, находящийся над ней, холодный, но такой туман бывает очень невысоким. Тем более удивительным был случай мощного тумана испарения над солончаковой почвой, без какого-либо наличия воды, который пришлось нам наблюдать в 1945 г. в пустыне.

Местность, на которой появился этот туман, представляла собой огромную котловину. Эта плоская впадина имела в низких частях большие площади белой как снег соли, выступившей тонкой корочкой на почве. Над впадиной и наблюдался почвенный туман испарения.

Ночью выпал очень сильный дождь. От этого песчаная почва впадины сильно увлажнилась. Осмотр почвы показал сухость поверхностного слоя песка и его большую влажность на глубине нескольких сантиметров. Кое-где встречались небольшие пятна влажной поверхности.

Утром был значительный мороз и слабый ветер. Туман был виден в 10 часов утра еще на расстоянии до котловины в 10—15 км. Его вертикальная расчлененность и струйчатость не оставляли сомнения в том, что это — туман испарения. Туман постепенно слабел и около полудня исчез совершенно. До 14 часов тумана испарения над впадиной не было. Позднее начали появляться его струи над белыми полями солончака. Туман распространялся пятнами, придерживаясь наиболее низких и влажных соляных полей, пока не слился в одно целое. Его высота достигла нескольких десятков метров. Через час туман еще более усилился, и в 16 часов отдельно поднимающиеся его струи достигли сотен метров высоты при горизонтальной видимости менее 1 км в наиболее густой его части. Струи тумана, поднимаясь, завихрялись и относились ветром. К вечеру было заметно ослабление тумана.

Этот туман образовался вследствие солнечного нагрева почвы. Над влажной почвой туман испарения может быть только днем, когда температура почвы становится выше температуры воздуха. Ночью же, когда почва радиационно охлаждается, почвенный туман испарения исчезает, может даже появиться роса или радиационный поземный туман. Дневное исчезновение его — дополнительная подробность, объясняемая уменьшением относительной влажности воздуха ниже предела конденсации.

#### СИБИРСКИЙ (ПОСЕЛКОВЫЙ) ТУМАН

Особенно интересны зимние туманы Сибири. Раю утром тумана не бывает ни в поселке, ни в окружающей местности. Повот затопились печи. В воздух поднялись столбы дыма, теплого и богатого паром. Пар, охлаждаясь в сильно морозном воздухе,

быстро приходит к насыщению. Начинается его конденсация. Над каждой трубой вырастает столб тумана. Он постепенно расплывается наверху в шапку гриба. В середине дня шапки сливаются друг с другом, образуя одно сплошное облако. Между тем внизу происходит развитие наземного тумана вследствие поступления пара от жилых домов и от производственной деятельности человека. Наземный туман сливается с приподнятым, а к вечеру весь поселок закрывается туманом. За ночь он исчезает, а утром образуется вновь.

При очень сильных морозах можно наблюдать, как остановившийся человек постепенно окутывается облаком тумана, образовавшегося от его дыхания и испарения с одежды.

*Сибирские туманы* связаны с очень низкими температурами и полным затишьем воздуха. Объясняются они крайне малым количеством водяного пара, которое может удерживаться в воздухе при температурах около  $-50^{\circ}$ . Почти весь выделяемый при горении и дыхании пар преобразуется в туман.

Поселковые сибирские туманы при очень сильных морозах быстро оледеневают и удерживаются уже как ледяные или смешанные туманы.

#### АДИАБАТИЧЕСКИЙ ТУМАН

*Адиабатический туман* образуется при восходящем течении воздуха. Насыщенный водяным паром воздух, попадая в условия пониженного давления, расширяется, вследствие этого охлаждается и водяной пар в нем конденсируется и образует туман. Такой тип туманов характерен для горных областей. Над равниной адиабатическое охлаждение поднимающегося воздуха приводит на некоторой высоте к конденсации и дает кучевое облако.

Если гора достаточно высока, то поднимающийся вдоль нее воздух, расширяясь и охлаждаясь, может достичь насыщения водяным паром и дать облако. Иногда подъем воздуха к вершине горы совершается по спирали. В этих случаях бывает интересно наблюдать, как кучевое облако, возникшее недалеко от вершины, кружится около нее.

Наблюдения показывают, что кучевое облако часто возникает на голом каменистом, наиболее нагретом склоне горы, а не на склоне, покрытом растительностью. Отсюда видно, какую большую роль в образовании облака играет скорость подъема, обеспечивающая быстрое охлаждение поднимающегося воздуха. Этим объясняется большая частота кучевообразной облачности над вершинами как при низкой, так и при высокой относительной влажности. В высокогорных районах летом единственным временем, когда обычно можно обозревать панораму, бывает раннее утро; позже кучевые облака закрывают вершины гор.

Туманы, которые наблюдаются, когда такая облачность касается поверхности земли, обладают обратным, по сравнению

с обычными туманами, суточным и годовым ходом; чаще всего они наблюдаются летом и днем.

Этот туман часто проходит отдельными массами, чередуясь с прояснениями. Адиабатический туман в горах может сопровождаться грозой.

### ИНТЕНСИВНОСТЬ ТУМАНА

Кроме различий по условиям образования, каждый из видов туманов можно делить и по другим признакам, например по плотности, степени вертикального и горизонтального развития.

Туманы имеют различную плотность, отчего видимость по горизонтали в них ухудшается в различной степени.

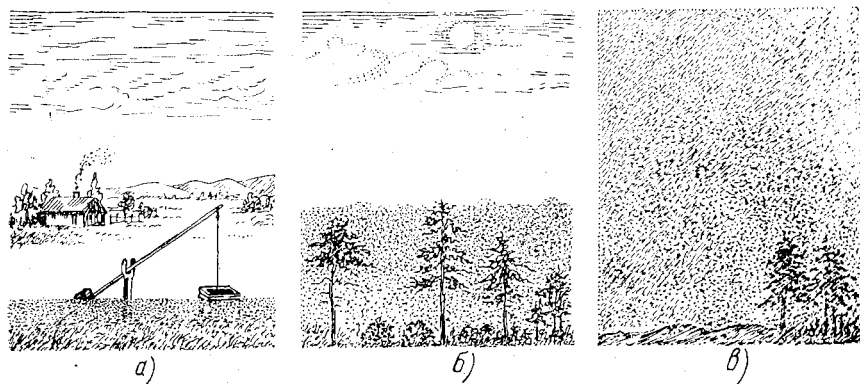


Рис. 24. Туманы: а) поземный, б) просвечивающий, в) сплошной.

Туманы, также в зависимости от плотности и интенсивности развития, могут давать различную видимость по вертикали.

Туманы могут быть различной степени изменчивости во времени — то устойчивыми, то неустойчивыми, а по расположению относительно наблюдателя — однородными, местными и отдаленными.

О плотности тумана судят по видимости в нем. Различают густой туман с видимостью менее 50 м, туман умеренной плотности с видимостью от 50 до 500 м и слабый туман с видимостью от 500 м до 1 км.

Вертикальная мощность тумана бывает весьма различной. В одних случаях туман стелется по низине тонкой пленкой, мощностью всего в несколько десятков сантиметров, совершенно не закрывая не только неба, но и горизонта (рис. 24). В других случаях вертикальная мощность тумана превосходит высоту в один километр. При этом тумане невидимо солнце даже в полдень.

Если совершенно неразличимы солнце, голубое небо или облака даже в области зенита, то туман называется *сплошным*.

Если просвечивает голубое небо, облака или небесные светила, но горизонт закрыт, то туман называется *просвечивающим*. Если туман располагается слоем не более 1,5 м высоты, то он называется *поземным*.

Поземный туман бывает преимущественно над низкими местами и над водой (болотом, озером, рекой). Поземный туман возникает преимущественно в ясную ночь и быстро рассеивается после восхода солнца.

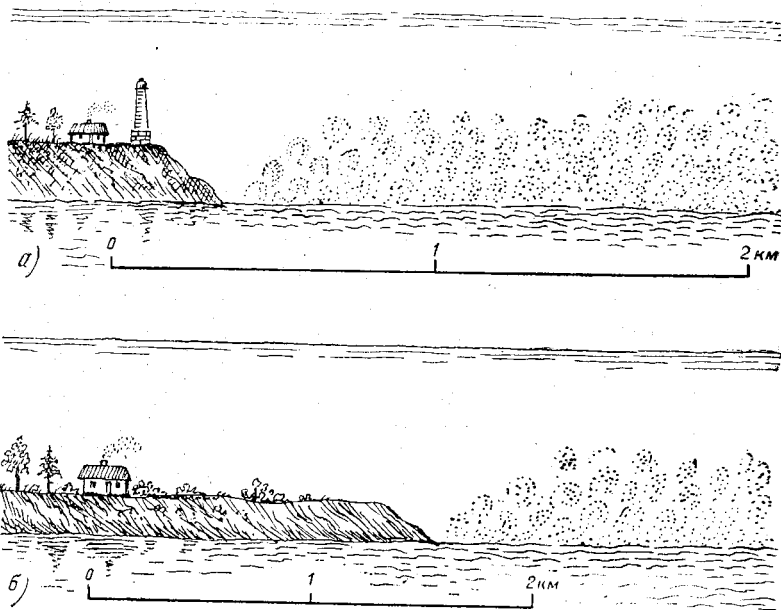


Рис. 25. Схематический вид двух случаев тумана испарения: а) местного и б) отдаленного.

Если видимость сохраняется более или менее постоянной в течение некоторого времени, то туман называется *устойчивым*.

Иногда при ветре туман проносится мимо наблюдателя отдельными облаками, зарядами. Это характерно для горных, островных и прибрежных мест. Видимость в таком тумане сильно колеблется: от величин менее 1 км до величин более 1 км по некоторым направлениям. Такой туман называют *неустойчивым*. Если же временами при уходе отдельных зарядов тумана видимость по всем направлениям превышает 1 км, то туман является *прерывистым*.

Если наблюдатель находится внутри тумана и видимость по всем направлениям оказывается равной или меньшей 1 км, а туман имеет вид сплошной однородной массы, то такой туман называют *однородным*.



В других случаях туман устойчиво удерживается лишь в одном определенном направлении, а по другим направлениям тумана нет, т. е. видимость превышает 1 км. Такой *местный туман* вызывается особыми условиями данного места и характерен неоднократными появлениями в течение года. Он может быть только на водоеме вблизи берега или, наоборот, только на берегу, на склоне горы и т. п. (рис. 25).

Если видимость в поле зрения превышает 1 км по всем направлениям, но в отдалении виден туман на расстоянии более 1 км, то туман называется *отдаленным*. Он возникает над морем и может быть виден с берега на расстоянии в несколько километров (рис. 25), а также над низкими местами суши. Подобное расположение тумана может быть при любой его мощности.

### ДЫМКА И ДРУГИЕ ВИДЫ ЗАМУТНЕНИЯ ВОЗДУХА ВОДЯНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Дымка тумана, или просто *дымка*, — это влажное помутнение воздуха, вызванное наличием в воздухе мельчайших капель воды диаметром меньше 1 микрона.<sup>1</sup> Дымка — это начальная стадия конденсации водяного пара. Из дымки возникает туман посредством укрупнения капель. Дымка может быть и последней стадией тумана перед тем, когда он совершенно испарится. Видимость при дымке во всех направлениях больше 1 км, но меньше 10 км (см. рис. 21).

Наличие в воздухе взвешенных капелек диаметром меньше 0,1 микрона вызывает хотя и заметное, но очень слабое помутнение воздуха. Этот *замутненный воздух* наблюдается при большой относительной влажности воздуха, т. е. рано утром или под вечер.

Видимость при замутненном воздухе бывает от 10 до 30 км. Замутненный воздух — обычное явление в умеренных широтах.

Если воздух отличается большой прозрачностью и в нем нет ни водяного, ни сухого, осязаемого глазом помутнения, то такой воздух можно назвать *незамутненным* или *чистым воздухом*. Это прозрачный воздух, в котором видимость превышает 30 км. Его признаками служат ясная различимость подробностей и чистота красок ландшафта, а также резкие очертания облаков и гор на горизонте, темно-голубой цвет неба в зените и чистые зеленоватые тона неба без признаков белесоватости у горизонта.

Незамутненный, чистый воздух часто наблюдается в Арктике, так как там почти нет пыли. В умеренных широтах чистый воздух чаще всего связан с вторжениями арктических масс воздуха. Поэтому особенно большая прозрачность воздуха бывает при резком похолодании.

<sup>1</sup> Микрон равен одной тысячной доли миллиметра.

## ЗАМУТНЕНИЕ ВОЗДУХА ЛЕДЯНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Нижние слои воздуха иногда слегка замутняются мельчайшими ледяными кристалликами, возникающими здесь же в воздухе вследствие сублимации (см. стр. 12). На предметах они дают тончайший осадок ледяной пыли.

Когда земная поверхность покрыта снегом, то при сильном порывистом ветре снег поднимается в воздух, образуя метель. Здесь помутнение воздуха уже очень большое, как при тумане.

## ЛЕДЯНЫЕ КРИСТАЛЛЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА

*Ледяная пыль* — это мельчайшие ледяные кристаллики, сверкающие в воздухе при ясном небе в любое время суток. Размер частиц в среднем не превышает 0,5 мм, но могут быть отдельные кристаллы размером до нескольких миллиметров. Кристаллики плавают в воздухе, медленно оседая, сверкая в лучах солнца или яркого фонаря. Лишь иногда кристаллики, имея большой размер, падают довольно быстро, создавая впечатление длинных сверкающих линий, переходящих при большой густоте пыли в сверкающие ливни.

Осадок ледяной пыли ничтожен и редко может дать слой отложения высотой до 1 мм при очень малой плотности.

Видимость при наличии ледяной пыли бывает хорошей — более 10 км, лишь в азимуте солнца блеск пыли затрудняет рассмотрение удаленных предметов. Ледяная пыль создает вокруг ярких источников света (солнце, луна, фонари) различные оптические явления; чаще всего столбы.

Ледяная пыль наблюдается только при значительных морозах. Она отличается от мельчайшего снега выпадением при ясном небе.

Ледяную пыль часто называют ледяными иглами. Форма кристаллов пыли — пластинки. Иглы выпадают при наличии облаков, как мелкий снег.

Ледяная пыль образуется в результате сублимации водяного пара при сильном охлаждении воздуха, когда водяного пара в воздухе может содержаться очень мало. Она возникает и при других условиях. В сибирские морозы, как указывалось выше, водяного пара в приземном воздухе может содержаться очень мало. Поэтому выдыхаемый людьми и животными воздух, богатый паром, дает быстро оледеневающий туман. Например, упряжка оленей на стоянке постепенно исчезает из виду в ледяном тумане.

Ледяные кристаллы часто возникают внутри водяного тумана или дымки. Получается смешанный туман. В зависимости от

соотношения водяной и ледяной его части туман можно отнести либо к водяному, либо к ледяному.

Помутнение воздуха до величин меньших 10 км, но больших 1 км, вызванное наличием в воздухе большого количества ледяной пыли, называется *ледяной дымкой*. Это явление наблюдается только при сильных морозах и в ясную погоду.

Очень сильное помутнение воздуха до видимости, не превышающей 1 км, вызванное наличием в воздухе большого количества ледяной пыли, называется *ледяным туманом*. При этом в воздухе может быть и густая туманная дымка или даже слабый водяной туман, однако во всех случаях обязательно должно быть наличие в воздухе большого количества ледяной пыли. Это явление наблюдается только при очень сильных морозах в местах обильного выхода водяного пара: над польнями, в поселке и т. п. Обычно при ледяном тумане видимость по вертикали хорошая: просвечивает небо и видны звезды, луна или солнце.

## СНЕЖНЫЕ МЕТЕЛИ

*Метелью* называется перенос снега ветром. Последний часто сопровождается вихревыми движениями снежинок. Образование метелей зависит не столько от силы ветра, сколько от того, что снег является сыпучим и легким материалом, который легко поднимается ветром с земли. Отсюда метели возникают при различных скоростях ветра, иногда начиная уже с 4—6 м/сек. Даже небольшой ветер начинает поднимать и разметать пушистый снег при низкой температуре. Если же после оттепели поверх снежного покрова образовался плотный наст, то даже сильный ветер не дает метели. Поднятые и развеянные в воздухе снежинки создают замутнение воздуха.

В метеорологии различают три вида метелей: общая, низовая и поземок.

*Общая метель* — это развеивание снежного покрова на высоту нескольких десятков метров (рис. 26). Неба при этом не видно и нельзя разобрать, выпадает ли снег из облаков, или в воздухе кружится только снег, поднятый ветром с поверхности земли. Видимость при такой метели не превышает 1 км. Общая метель вызывается большими скоростями ветра.

При *низовой метели* небо видно и можно установить, происходит ли только перенос снега, поднимаемого сильным ветром с поверхности земли до высоты нескольких метров, или, кроме того, еще и выпадает снег. Видимость при этом по горизонтали не превышает 1 км.

Перенос снега ветром только вдоль самой поверхности земли называется *поземком*. Поземок часто наблюдается при совершенно безоблачном небе. Видимость при поземке более 1 км на высоте 2 м и менее 1 км ближе к поверхности снега.

Метель — вредное явление. Она заметает пути, сносит снег с полей и заносит его в овраги. Для борьбы с заносами принимаются различные меры защиты железнодорожных путей, дорог и аэродромов.



Рис. 26. Метели: а) поземок, б) низовая метель, в) общая метель.

## Глава VIII

### ЗАМУТНЕНИЕ ВОЗДУХА ПЫЛЬЮ

Помутнение воздуха часто вызывается засорением его твердыми частицами пыли или дыма. Пыль, замутняющая воздух, бывает различного происхождения. Это, прежде всего, наземная пыль, которая является основным источником запыления атмосферы в нижних ее слоях. Она состоит из мельчайших обломков горных пород, частиц почвы, мелких остатков растительных и животных организмов, спор растений. Все эти мелкие частицы поднимаются в атмосферу восходящими течениями и вихрями. К этой пыли также относят и солевую пыль, которая находится в воздухе как результат испарения капелек морской воды или сдувания поверхности солончаковых пустынь. К наземной пыли относят также дым от пожаров лесов, степей и торфяников.

В воздухе временами находятся большие количества вулканической пыли, которая забрасывается в атмосферу при извержении вулканов. Она разносится воздушными течениями на большие расстояния. Эта пыль очень мелкая и поэтому падает

весьма медленно, долго находится в атмосфере и влияет значительно на изменение ее прозрачности.

Кроме того, атмосфера засорена еще и космической пылью, которая поступает в атмосферу непосредственно, а также в виде продукта сгорания метеоров (падающих звезд).

В помутнении приземных слоев воздуха наибольшую роль играет крупная пыль. Массы теплого воздуха, приходящие в Европу из южных пустынь (Средняя Азия, Сахара), несут с собой очень мелкие частички пыли (диаметры частиц измеряются десятитысячными долями миллиметра). Эта пыль создает помутнение воздуха, называемое *опалесцирующим*. Частички, создающие это помутнение, рассеивают коротковолновые лучи больше длинноволновых, и поэтому на темном фоне отдаленных лесов, гор и строений помутнение дает голубую окраску, а светлые или светящиеся предметы (облака, снег, светила) приобретают оранжевый оттенок.

В самих пустынях Средней Азии засорение воздуха более сильное. Здесь воздух насыщен более крупной пылью, весь горизонт как бы закрыт молочной или сероватой завесой. Эта завеса пыли при сильных ветрах имеет в Средней Азии плотность густого тумана.

#### ПЛОТНАЯ ПЫЛЬ И ПЫЛЬНЫЕ БУРИ

*Плотная пыль* — это сильное сухое помутнение воздуха, когда видимость понижается до величин, не превышающих 1 км. В воздухе могут находиться частицы пыли, песка, чернозема, поднятые ветром в данном месте, или принесенные издалека, или оставшиеся в воздухе после стихания бури, а также дым лесных и торфяных пожаров. Скорость ветра при густом запылении воздуха может иметь любые значения от затишья до бури. В последнем случае явление называется пыльной бурей.

*Пыльная буря* — это сложное явление, состоящее из двух одновременно наблюдающихся явлений: 1) плотной пыли и 2) бурного ветра (о нем см. гл. IX).

Пыльные бури наблюдаются часто в степной зоне южных и юго-восточных районов Европейской территории Союза ССР. Под влиянием ясной жаркой погоды верхний слой почвы сильно иссушается, и в случае сильного ветра мелкие частицы почвы начинают переноситься в воздух в огромных количествах.

Пыльные бури на культурных землях приносят огромные убытки, а иногда являются настоящим бедствием. Вот, например, описание такой бури 20 июля 1892 г. в Харьковской области, заимствованное из трудов Докучаевской экспедиции:

«К полудню уже весь горизонт был покрыт мельчайшей пылью; солнце, до того светившее ярко, подернулось как бы легкой тучею; виднелось только одно красное пятно. Несмотря на закрытые ставни, в хате невозможно было сидеть: кроме духоты и жары, приходилось еще глотать массу пыли, пробившейся

сквозь тонкие щели дверей, окон и пр. Дом дрожал под напором сильного ветра, со всех сторон неслись поломанные ветви курая, перекасти-поле и др. На степи временами не было ничего видно за 10 саженьей. Это была настоящая вьюга, но вместо снега летала черноземная и меловая мельчайшая пыль, поднявшаяся высоко в воздухе. Все живое попряталось, притаилось, как будто в ожидании чего-то еще более грозного... Этот знойный буран оставил по себе весьма значительные заносы пыли, чернозема и песку. Поля местами оголились и хлеба были сильно опалены».

Хищническая распашка земли, характерная, например, для США, ведет к выдуванию ценных поверхностных слоев почвы бурным ветром. При этом поднимается черноземная пыль, затемняющая солнце и превращающая день в ночь. Во время подобных черных бурь в царской России выдувался слой чернозема толщиной 10—12 см вместе с посевами. Мельчайшая пыль с Украины долетала до Швеции, переносясь над Балтийским морем. Пыль при такой буре поднимается в воздух на несколько километров вверх и после стихания ветра оседает на землю в течение более суток.

Разумное использование свойств почвы в СССР ведет к возрастающему плодородию земли, к предотвращению черных бурь. Они скоро исчезнут на полях нашей великой Родины.

Во время плотной пыли или дымового помутнения солнце приобретает голубоватый или зеленоватый цвет.

#### ПЫЛЕВОЙ ПОЗЕМОК И СУХАЯ МГЛА

*Пылевой поземок* — это перенос пыли, сухой земли или песка только вдоль самой поверхности земли. Горизонтальная видимость при пылевом или песчаном поземке более 1 км на высоте 2 м, а на более низких уровнях — 1 км или меньше. Скорость ветра при пылевом поземке бывает различной в зависимости от состояния поверхности почвы и сухости воздуха. Поземок может наблюдаться уже при умеренном ветре (5—7 м/сек).

Пылевой поземок наносит ущерб народному хозяйству в степных и пустынных районах. Песок заносит культурные земли, пути сообщения.

*Сухой мглой* называется сплошное слабое помутнение воздуха вследствие массы находящихся в нем мельчайших твердых частиц — пыли или дыма. Видимость при мгле превышает 1 км, но менее 10 км.

*Дымная мгла* — это частный случай сухой мглы, когда сплошное помутнение воздуха вызвано дымом лесных или торфяных пожаров, большого промышленного предприятия и т. п. При пожарах воздух бывает очень сухой, при промышленном помутнении влажность может быть большой и сухое помутнение может перейти во влажное, например в серый городской туман. Дымная мгла отличается от пылевой мглы также и запахом гари.

Дымная мгла иногда распространяется высотными воздушными течениями, вызывая красноватую окраску неба и зеленоватую солнца.

Известны случаи переноса дыма от лесных пожаров Канады в Европу. Однако это явление не считается мглой, если видимость при нем 10 км и более; тогда его называют *замутненным воздухом*.

## Глава IX

### БУРИ И СМЕРЧИ

#### БУРЯ И УРАГАН

В метеорологии *бурным ветром*, или, короче, *бурей*, называется ветер, имеющий среднюю скорость 15 м/сек и более. При этом скорость ветра в порывах может достигать значений в полтора раза больших, чем среднее значение скорости ветра за несколько минут.

Реже наблюдаются бури, когда скорость ветра превышает 30 м/сек. Подобная буря называется *ураганом*. Она вызывает большие разрушения и иногда сопровождается человеческими жертвами. Ураганы бывают преимущественно на морях или в прибрежных местностях. Такой ураган имел место 14 ноября 1854 г. у Балаклавы. Англо-французский флот, осадивший Севастополь, намеревался провести высадку десанта в районе Балаклавской бухты. Внезапно налетела буря, вскоре перешедшая в ураган. Неприятельский флот не был в состоянии бороться с разбушевавшейся стихией и почти полностью погиб.

По собранным сведениям о погоде за предшествующие дни оказалось, что эта буря прошла через юг Франции, Италию, Балканы и потом пришла в Крым. Образовалась она от циклона, двигавшегося с запада на восток. Однако не каждый циклон приносит бурю. Чтобы возникла буря, нужны особые условия в атмосфере. Такие условия чаще всего встречаются на океанах.

Бури не так уж часты. Некоторые ветры, часто достигающие силы бури и даже урагана, свойственны исключительно той или иной местности. Такова *бора*. Это общее название холодного потока, низвергающегося с невысоких горных хребтов. В Советском Союзе подобные ветры наблюдаются на берегах Байкала, где носят название *сарма*, на Новой Земле — *восток* и в Новороссийске — *норд-ост*. Новороссийская бора (норд-ост) хорошо изучена, и ее появление может быть предсказано. Она возникает при вторжении холодного плотного воздуха, который расположен к северу от Новороссийска, тогда как над Черным морем расположен теплый легкий воздух и давление понижено. Холодный плотный воздух обрушивается с большой скоростью с гор на бухту и город. Порывы ветра достигают 40 м/сек и, ударяясь в море, поднимают тучу брызг. В зимнее время эти брызги, на

дая на встречные предметы, сразу замерзают. Суда, находящиеся в бухте, покрываются толстым слоем льда. Толстым слоем льда покрываются набережная и расположенные близ нее здания.

## ШКВАЛ

*Шквалы* представляют собой внезапно налетающие бури. Они разражаются почти одновременно вдоль длинной линии на земной поверхности и распространяются часто с большой скоростью. В течение нескольких минут более или менее ясная и спокойная погода сменяется бурей, причем ветер достигает скорости 20—25 м/сек, а иногда даже и более. Шквалы обычно связаны с грозами, но нередко наблюдаются и самостоятельно. Причиной шквала является вторжение холодных тяжелых масс воздуха, которые вытесняют встречный теплый воздух, заставляя его быстро подниматься вверх. От поднятия теплый воздух охлаждается, водяной пар, находящийся в нем, конденсируется и возникают ливневые облака. Под ними, от поднятия теплого воздуха и опускания холодного, возникают шквалы — вихри с горизонтальной осью.

Шквалы представляют собой грозное явление природы, особенно из-за внезапности их появления. Приводим описание одного шквала.

24 марта 1878 г. в Англии на берегу моря встречали прибывающий из дальнего плавания фрегат «Эвридик». На пристани столпилась группа людей, среди которых были родные и знакомые, прибывшие встретить команду фрегата. «Эвридик» уже показался на горизонте и с каждой минутой вырисовывался все яснее и яснее. До берега оставалось уже каких-нибудь 2—3 км. Вдруг налетел ужасающий шквал со снегом и закрыл весь горизонт. Сила ветра была настолько велика, что люди на пристани падали. Моментально море покрылось огромными валами. Явление продолжалось всего минуты две. Когда шквал закончился, от фрегата не осталось никаких следов. Он был опрокинут и моментально затонул. Никто из команды не спасся. Оцепеневшая от ужаса толпа не верила своим глазам и тщетно всматривалась в море. Там было пусто и ходили только огромные валы разбушевавшегося океана.

Когда были собраны материалы с окружающих мест, то оказалось, что этот шквал шел полосой длиной около 700 км и шириной всего 2—3 км, но с громадной скоростью, до 90 км/час. Этим объясняется его внезапность и малая продолжительность.

## ПЫЛЬНЫЕ ВИХРИ

В жаркий летний день можно видеть, как поднятая ветром пыль несется по проселочной дороге в виде небольшого вихря с вертикальной осью. Иногда такие *пыльные вихри* могут достигать большой силы и сопровождаться небольшими разруше-



ниями: срывается белье с веревок, поднятой галькой разбиваются стекла, оголяется дерево от листьев, срывается с крыши слабо укрепленный лист железа и т. п.

Приведем характерный случай прохождения сильного пыльного вихря в 1890 г. в деревне Пуковое Тульской губернии по наблюдению Д. И. Заморского.

«За деревней на большом лугу крестьянки расстилали «зорями по росам» льняные холсты для отбели. Стоял безветренный, теплый, солнечный июньский день. Но вот на улице вдруг закрутилась пыль и пошла вихрем в сторону луга. Вихрь закружил штук 30—40 холстов длиной по 50—60 аршин, высоко поднял их в воздух и понес в сторону поля, где уже наливалась рожь. Увидев это, женщины бросились в погоню за улетающим полотном. Скоро они потеряли холсты из виду, но продолжали идти в сторону ушедшего вихря. Пройдя около пяти верст до стоявшей под лесом деревни, женщины здесь узнали, что какие-то холсты упали с неба у леса, местные жители их подняли и у старостина дома будут делить как дар божий. Полотна были во-время вырваны. Вихрь так крепко скрутил холсты, что хозяйки едва их распутали».

Пыльные вихри вызываются сильным развитием поднимающихся струек прогретого воздуха. При этом восходящие струи завихряются.

Удивительным, на первый взгляд, свойством пыльного вихря является внезапное и кратковременное увеличение скорости ветра, т. е. его резкий порыв.

Пыльный вихрь может иметь поперечник всего в несколько метров и доходить до 10—20 м. Он как бы бежит по дороге. Иногда энергия вихря может быть столь большой, что он может перейти даже через речку, отмечаясь на ней поднятыми в воздух брызгами.

В некоторых случаях над особенно мощными вихрями во влажном воздухе возникает кучевое облако. Такой вихрь над морем наблюдал в г. Сочи Р. Г. Панчугин. Кучевое облако появилось над уже развившимся вихрем и распалось после угасания вихря.

Усиление ветра, вызванное прохождением пыльного вихря, отличается от шквала тем, что оно ограничено на земле узкой полосой в несколько метров ширины и имеет вращательное движение.

## СМЕРЧ

*Смерч, тромб, торнадо* — так называются вихри диаметром в десятки и сотни метров, с вертикальными осями и с очень большими скоростями. Эти термины еще недостаточно определены, иногда одно и то же явление называют различно. Смерч возникает только при наличии грозových облаков. Двигается он вместе с грозой со значительной скоростью.

Смерч представляет собой облачный столб, спускающийся из темных грозовых туч к поверхности земли (рис. 27). Наиболее узкая часть столба обычно бывает внизу или в его середине. Столб имеет поперечник, превышающий 5—10, а иногда и 100 м, в редких случаях он доходит почти до 2 км. Форма столба бывает то вертикальна, то в виде дуги, имеющей более или менее горизонтальный участок, или еще более сложного вида (рис. 28).

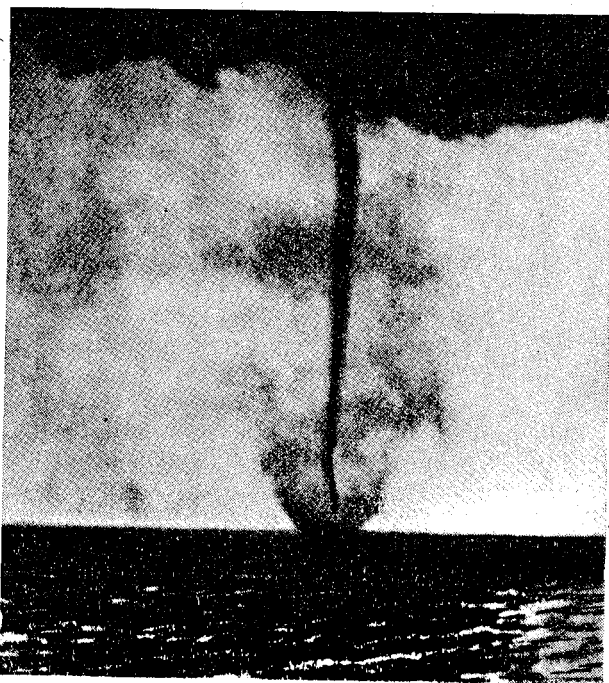


Рис. 27. Фотография смерча в форме вертикального столба.

Смерч обладает большой разрушительной силой. Скорости ветра в смерче не удается измерить, но, судя по тем разрушениям, которые он производит, скорость ветра внутри него может быть больше 100 м/сек. В то же время рядом с проходящим смерчем может наблюдаться почти полное затишье.

Из одного грозового облака может одновременно опускаться несколько смерчей, которые в таком случае бывают небольшого диаметра. Вихревой столб имеет высоту от нескольких сотен метров до нескольких километров, иногда наклонно пронизывая почти все облако. Но и при меньшей высоте смерч входит внутрь облака, не смешиваясь с ним.

Отличие смерча от пыльного вихря заключается не только в величине и разрушительной силе, но также и в условиях погоды — смерч обязательно вызван грозовым облаком, а пыльные вихри бывают в ясные дни. Направление вращения воздуха в смерче чаще всего бывает против часовой стрелки, при этом воздух спирально перемещается вверх. В смерче, вследствие

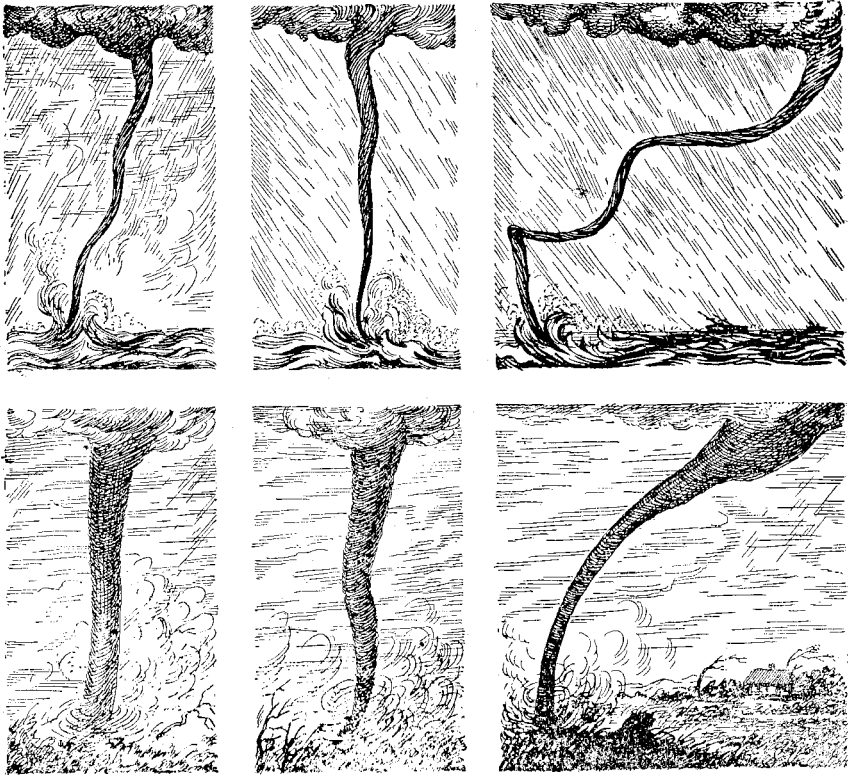


Рис. 28. Формы небольших смерчей, наблюдавшихся в разное время и в разных местах над сушей и морями тропических стран.

быстрого вращения, происходит центробежное разбрасывание воздуха, его разрежение и сильное понижение давления внутри вихря вдоль его оси (рис. 29). Это приводит к столь большому охлаждению, что конденсация начинается уже непосредственно над земной поверхностью и делает видимым вихревой столб смерча.

С внешней стороны развитие смерча проходит следующие стадии. Выступ нижней части особенно темного грозового облака вдруг начинает опускаться в виде небольшой воронки. От воронки вытягивается вниз темная трубка, слабо наклонная или изгибающаяся. В это время можно различить быстрое вращательное дви-

жение трубки. Вскоре и с поверхности земли навстречу начинает подниматься коронка, образованная пылью или брызгами воды. Вскоре они соединяются, приобретая форму темного вращающегося столба. Он вырывает с корнем деревья, срывает крыши домов, разрушает надпалубное оборудование кораблей, а иногда уничтожает небольшие поселки.

29 июня 1904 г. через Москву прошел смерч. Исследование А. А. Сперанского и Н. В. Колобкова показало, что он возник в крайне мощном грозовом облаке на юго-востоке от Москвы. Смерч уничтожил деревни Рязанцево, Копотня, Чагино, вырвал с корнем и сломал до 70 десятин леса в Люблинской роще, раз-

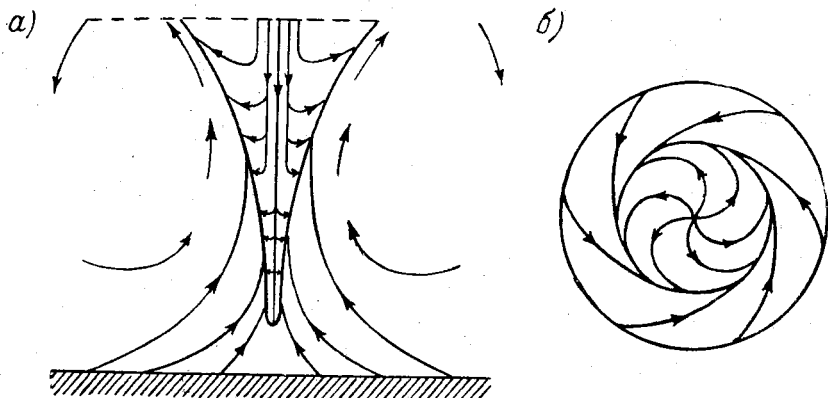


Рис. 29. Схема воздушных течений в смерче: а) вертикальный разрез, на котором видны нисходящие движения вдоль оси смерча, б) горизонтальный разрез, где показано центробежное разбрасывание воздуха внутри смерча.

рушил деревни Гравороново, Карачарово, Хохловку и с востока вошел в Москву. Здесь он уничтожил Анненгофскую рощу, повредил дома в Лефортове, повалил вековой лес в Сокольниках и, наконец, распался в Мытищах. Длина пути смерча была около 40 км, а ширина колебалась от 100 до 700 м. Проходя через Москву-реку, он высосал ее воду так, что обнажилось дно реки.

Вертикальная скорость ветра внутри этого вихря была огромной. Сорванные крыши летали, как клочья бумаги. В лефортовской пожарной части смерч был принят за пожар. Обоз был готов выехать, но налетел смерч, поднял пожарную телегу и разбил в щепы. В Анненгофской роще были подняты две коровы и пастух. Последний спасся, повиснув на сучьях. Смерчу предшествовало выпадение градин весом около 400 г. Число убитых людей было более сотни. Длительность разрушительного ветра была всего около 1 минуты.

Известны случаи поднятия смерчем очень тяжелых предметов. Однажды был поднят товарный вагон так, что телеграфные провода около пути остались целы, а вагон бережно опустился

за ними с невредимым кондуктором. Особенно большие и разрушительные вихри в Америке называются *торнадо*.

Разница в диаметре смерчей приводит к некоторым существенным качественным их различиям. Например, вращение воздуха в малом смерче может происходить как по часовой стрелке, так и против нее. В больших смерчах, диаметром около километра, вращение воздуха бывает уже только против часовой стрелки, как это наблюдается у несравненно более крупных вихрей — *тропических циклонов*.

Московский смерч наблюдался во время грозовой погоды, сопровождавшейся бурями в Московской области. Он был связан с прохождением циклона. Подобные смерчи в СССР крайне редки. Для их образования недостаточно развития отдельных облаков в неустойчивом воздухе. Необходим упорядоченный подъем теплого воздуха на огромной площади.

В некоторых тропических странах огромные разрушительные смерчи — обычное явление, такое же как на Черном море — большие смерчи.

Малые смерчи время от времени наблюдаются в различных местах Советского Союза. Например, они наблюдаются на Ладожском озере, в центре Европейской территории СССР, на Черном море.

Вихрь всасывает с земной поверхности не только пыль и брызги воды, иногда он втягивает внутрь облака всю воду пруда вместе с находившимися в нем лягушками или рыбами, которые затем начинают падать из облака на расстоянии десятка километров от места их поднятия. Например, однажды на ст. Целина Ростовской области из облака высыпались на улицы поселка прудовые рыбы.

Там, где часты смерчи и водоемы обильны рыбой, выпадение последних из облака довольно частое явление. Таково, например, побережье Карибского моря.

Однажды в Испании в предместье города из тучи посыпались апельсины, поднятые с городского рынка, а в Горьковской области вместе с дождем выпали мелкие серебряные монеты, поднятые смерчем из размытого старинногоклада.

## Глава X

### СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

Световые лучи от солнца, луны и звезд, проходя через атмосферу земли, встречают на своем пути слои воздуха различной плотности, плавающие в воздухе кристаллики льда, пылинки, водяные капельки. Эти препятствия заставляют часть лучей преломляться, отражаться от препятствий, изменять свой путь. Все это дает начало ряду различных световых (оптических) явлений.

Нами будет рассмотрена только часть таких явлений, которые

непосредственно воспринимаются глазом и наблюдаются без приборов.

Световые явления, наблюдаемые в атмосфере, находятся в тесной связи с процессами, происходящими в ней.

## РАДУГА

Каждый из нас любовался яркой радугой, появляющейся в виде разноцветной дуги на фоне темной тучи, расположенной на стороне небесного свода, противоположной солнцу.

Иногда появляются на небе две радуги. Одна (нижняя) более яркая и над ней, через небольшой промежуток, другая, менее яркая. Первая называется *главной*, вторая — *побочной радугой*.

Обе радуги обращены друг к другу красными краями дуги, так что у главной радуги красный край находится на выпуклой, у побочной на вогнутой стороне дуги. За красной полосой дуги следуют полосы других цветов в порядке цветов солнечного спектра. Таким образом главная радуга с внутренней стороны и побочная с внешней стороны ограничены фиолетовыми дугами.

Радуга, в которой одинаково развиты все цвета солнечного спектра, наблюдается не так часто. Обычно самыми яркими цветами бывают красный или зеленый, другие развиты менее ярко; часто некоторых цветов недостает вовсе.

Ширина отдельных цветных дуг и общая ширина радуги не всегда одинаковы, но радиус наружного края красной дуги главной радуги равняется всегда приблизительно  $42^\circ$ , а радиус красной дуги побочной радуги приблизительно  $50^\circ$ . Центром радуги служит точка, противоположная солнцу, т. е. находящаяся на продолжении прямой, проходящей от центра солнца через глаз наблюдателя.

С внутренней стороны главной радуги иногда бывают видны добавочные *вторичные дуги*, их может быть одна или несколько, окрашены они в различные цвета, но чаще в зеленый и розовый. Такие же дуги, но гораздо реже наблюдаются с внешней стороны побочной радуги.

Иногда во время дождя при лунном свете наблюдается белая радуга. Она только кажется белой вследствие слабой интенсивности лунных лучей. Настоящая белая, бесцветная радуга создается действием солнечных лучей на капельки тумана; она наблюдается обыкновенно в горах и часто на берегах северных морей. Эта радуга яркого молочного цвета, окаймленная по краям тонкими цветными полосками.

Теория радуги очень сложна. Схематически, очень грубо, это явление можно объяснить следующим образом. Лучи солнца падают на каплю, находящуюся в воздухе, в виде пучка параллельных лучей и попадают на различные участки кривой поверхности капли под разными углами. Проходя внутрь капли, солнечные лучи отклоняются от своего первоначального пути, при-

чем различно в зависимости от угла, под которым луч упал на каплю. Дойдя до противоположной стенки капли, лучи частью пройдут через неё, частью отразятся от стенки и, пройдя через каплю еще раз, опять преломятся при выходе из капли (рис. 30).

При преломлении происходит разложение белого луча на отдельные цветные лучи. Преломление различно для разных цветов спектра, красные лучи меньше всех отклоняются от своего первоначального направления, следующие за ними оранжевые больше и так далее до фиолетовых, которые отклоняются больше всех. Поэтому от одной капли в глаз наблюдателя попадает

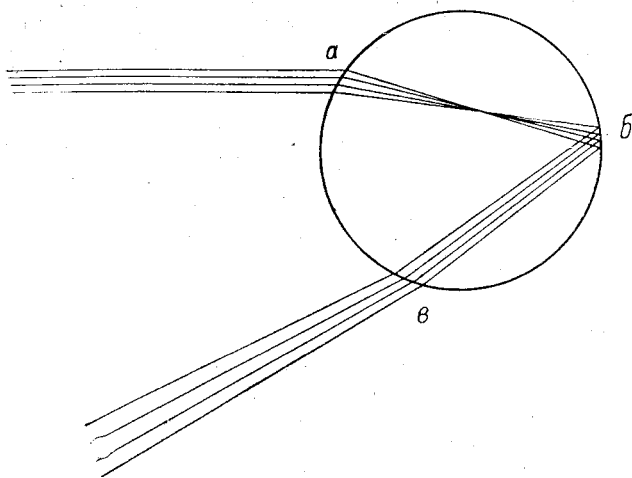


Рис. 30. Ход лучей в капле при образовании радуги.

только красный луч, от капли, расположенной ближе к центру, — оранжевый и так далее до фиолетового.

Так как в воздухе находится много капелек, расположенных одинаково по отношению к солнцу и человеческому глазу, то все преломленные каплями лучи сольются и глаз увидит не отдельные цветные точки, а целые цветные полосы. Эти цветные полосы будут расположены в виде дуг, так как лучи одинакового цвета будут попадать в глаз только из тех капелек, которые расположены на конусообразной поверхности, ось которой проходит через глаз наблюдателя, а основание лежит там, где находятся капли.

Образование побочной радуги объясняется тем, что здесь пучок солнечных лучей попадает на капли под таким углом, что претерпевает в капле два преломления и два отражения от стенок (рис. 31). Поэтому у побочной радуги фиолетовый цвет будет на выпуклой, а красный — на вогнутой стороне дуги. Побочная радуга всегда менее яркая, чем главная, так как лучи, проделывая большой путь в капле, теряют много из своей интенсивности.

На основании теоретических расчетов, которые хорошо согласуются с наблюдениями и лабораторными опытами, по яркости цветов радуги и ширине дуг можно судить о размерах дождевых капель.

Самые большие размеры капель дождя дают радугу, в которой ясно различаются все цвета и особенно интенсивен красный цвет, резко выделяется зеленый и фиолетовый. Чем меньше капли дождя, тем красный цвет менее ярок, другие цвета приобретают белесоватые оттенки, а сама радужная полоса становится шире.

Часто радугу можно наблюдать на каплях фонтана, на брызгах при купании и т. п. Расстояние от наблюдателя до радуги, т. е. до капель, вызывающих ее, бывает самым различным. Чаще

всего это 1—2 км, а иногда всего только несколько десятков метров. Близкую радугу изобразил известный живописец моря И. К. Айвазовский в своей картине «Радуга».

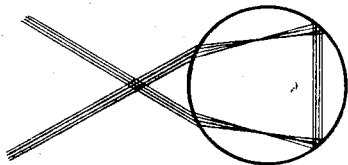


Рис. 31. Ход лучей в капле при образовании побочной радуги.

## ВЕНЦЫ

Если солнце, луна или яркие звезды закрыты тонкими облаками, то часто вокруг этих светил видно радужное сияние, которое называется *венцом*. В морозную погоду венцы бывают видны, когда небо кажется совершенно ясным. Венец вокруг солнца наблюдать трудно, так как смотреть на солнце незащищенным глазом вредно, поэтому венцы чаще всего наблюдаются вокруг луны.

Непосредственно к светилу примыкает беловато-синеватый круг, дальше, через голубой и желтоватый цвет, венец замыкается красноватым кольцом. К этому венцу иногда примыкают венцы второго, третьего и следующих порядков с таким же расположением цветов, но меньшей яркости.

Размеры венцов очень различны. Угловой радиус красного края венца первого порядка может быть от 0,1 до 6,0°. Измерить радиус венца можно самым простым угломерным прибором; можно определить его и на глаз, помня, что диаметр луны практически равен 0,5°.

Явление венцов имеет место только тогда, когда между светилем и глазом наблюдателя находится легкий полупрозрачный облачный слой. Оно объясняется дифракцией света, когда световой луч, идущий от светила, проходит очень маленькие отверстия между капельками, из которых состоит облако. Проходя через эти маленькие отверстия, луч света огибает края капельки и при этом разлагается на цветные лучи, которые по-разному отклоняются при искривлении луча у края отверстия.

Явление, подобное венцам, можно наблюдать иногда вокруг уличных фонарей, если смотреть на них через запотевшее стекло.



Мельчайшие капельки воды на запотевшем стекле представляют собой ту среду, которая преломляет и разлагает световой луч.

По размеру венцов можно судить о размерах тех частиц, из которых состоит облако. Если частицы облака очень крупные, то венец узкий, его можно даже не различить на краю луны. Широкие венцы, наоборот, указывают на мелкокапельное строение облака.

Существует мнение, что венцы возникают не только на каплях, но и на кристаллах. Тогда наблюдение венцов, как признака капельно-жидкого строения облака, теряет смысл. Этот вопрос наукой еще не разрешен.

Явлением дифракции также можно объяснить такое красивое явление, как *иризация облаков*. Иногда днем, когда небо покрыто перисто-кучевыми или высококучевыми облаками, отдельные части облаков светятся цветами радуги, причем цвета эти переливаются подобно цветам перламутра. Особенно интенсивна окраска у тонких краев облаков. Игра цветов получается потому, что облако движется и меняет свою плотность. Явление иризации на облаках, состоящих из крупных водяных капель, наблюдается реже и проходит не так интенсивно.

## ГАЛО

Под названием *гало* понимают целый ряд оптических явлений, которые вызываются отражением и преломлением световых лучей в мельчайших ледяных кристалликах. Эти кристаллики находятся между наблюдателем и светилом летом в виде перистых облаков, а зимой, кроме того, и в виде ледяной пыли, дымки или тумана.

Наиболее часто наблюдаются следующие формы гало (рис. 32).

1. Гало в виде цветного круга, описанного вокруг солнца или луны, радиусом в  $22^\circ$ . С внутренней стороны круг резко очерчен и окрашен в красный цвет, за красным идут последующие цвета спектра, менее резко окрашенные (размытые), и снаружи круг заканчивается голубоватым цветом, где постепенно сливается с цветом неба. Вокруг луны, из-за слабости лунного света, круг очень слабо окрашен, он почти белый и резко очерчен только с внутренней стороны. Иногда, в зависимости от распределения облачности, на небе видны только части круга.

2. Таков же круг с радиусом в  $46^\circ$ . Это более редкое явление. Вследствие большого размера это гало чрезвычайно редко наблюдается как полный круг, обычно видны только отдельные его части. Расположение цветов у этого гало такое же, как и у гало в  $22^\circ$ .

3. Еще более редко наблюдаются сложные формы гало, когда оно состоит из нескольких кругов, касательных и косых дуг и ложных солнц или лун. Чаше наблюдаются *верхние касательные*

дуги к гало в  $22^\circ$  и  $46^\circ$ . Они обращены выпуклостью к солнцу, бывают ярко окрашены, причем красный цвет обращен к солнцу.

4. *Ложные солнца и луны* наблюдаются в виде светлых пятен, расположенных по бокам светила на расстоянии в  $22^\circ$ . Они могут наблюдаться вместе с гало, но бывают и без него. Сторона, обращенная к солнцу, окрашена в красный цвет, за ним следуют остальные цвета спектра, постепенно ослабевающие. Ложное солнце часто заканчивается *хвостом*, направленным противоположно солнцу, длиной до  $20^\circ$ . Очень слабые ложные солнца могут наблюдаться также на расстоянии в  $46^\circ$  от солнца.

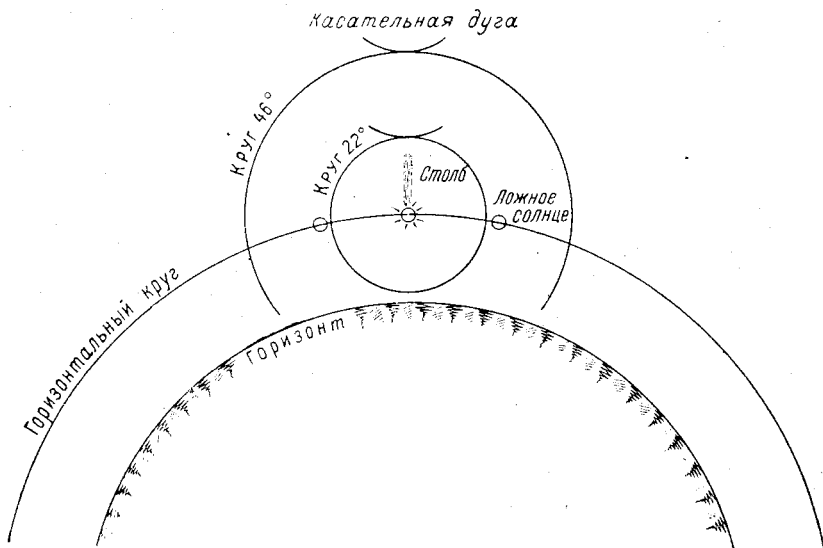


Рис. 32. Сложное гало, довольно часто наблюдаемое.

Кроме окрашенных форм гало, наблюдаются также бесцветные формы в виде белых кругов и столбов.

Это, прежде всего, *горизонтальный круг*, параллельный горизонту и проходящий через солнце или луну. Он редко наблюдается полностью, обычно видны отдельные его части.

Более частое явление — это *вертикальные световые столбы*, которые наблюдаются над или под солнцем или луной, когда последние находятся вблизи горизонта или даже под ним. Если такие столбы пересекаются с горизонтальным кругом, то наблюдается такое интересное и редкое явление, как крест.

Большое количество различных форм гало вызывается как разнообразием форм кристалликов, из которых состоят облака верхних ярусов, так и той или иной ориентировкой их во время падения.

Световой луч, падая на различные грани ледяного кристалла, может, проходя через него, преломляться под различными углами.

Если преломление светового луча происходит при преломляющем угле кристаллика в  $60^\circ$ , причем преломляющие ребра кристалликов расположены перпендикулярно горизонту и таких кристалликов в облаке очень много, то будет наблюдаться гало в  $22^\circ$ . Если, при тех же условиях, преломляющий угол равен  $90^\circ$ , то будет наблюдаться гало в  $46^\circ$ .

Касательные дуги будут наблюдаться при преломляющем угле в  $60$  и  $90^\circ$ , но когда преломляющие ребра кристалликов будут расположены горизонтально.

Сложные формы гало появляются, когда в облаке находятся кристаллики с различным расположением граней и преломляющих ребер.

Бесцветные гало наблюдаются вследствие отражения солнечных лучей от боковых граней (горизонтальный круг) или от верхних или нижних оснований (столбы) ледяных кристаллов, плавающих в воздухе.

Иногда гало наблюдается не в атмосфере, а на поверхности снежного покрова. В этом случае оно образуется отражением солнечных лучей от покоящихся на земле снежинок.

Такое гало на поверхности снежного покрова реки наблюдал А. Корсаков в Тарусове под Москвой в 1862 г.

Гало явление частое. Оно бывает в средних широтах до 100—130 раз в год, причем наиболее часто наблюдается гало в  $22^\circ$ .

Однако, так как гало довольно слабое оптическое явление, то оно часто пропускается незамеченным при повседневных метеорологических наблюдениях. А. П. Моисеев показал, что при специальном наблюдении гало, число их отметок увеличивается во много раз сравнительно с попутными наблюдениями.

Лишь иногда гало бывают яркими, привлекающими всеобщее внимание. Когда физические науки были в зачатке, а суеверие — сильным, гало считалось «знамением небесным». В нем различали фигуры мечей, короны и т. п.

Явление гало летом имеет место только при наличии тонких перистых облаков, а эти облака служат признаком приближения циклона — области пониженного давления. Прохождение циклона очень часто сопровождается выпадением дождя; таким образом гало может служить признаком наступления через  $1/2$ —2 дня ненастной погоды.

## МИРАЖ

*Мираж* — оптическое явление, при котором наблюдатель, кроме самого отдаленного предмета, видит еще и его изображение. Иногда самый предмет может быть и невидимым, находится за горизонтом, а бывает видно только его изображение.

Если изображение появляется над предметом, то явление называют *верхним миражом*, если ниже предмета, то *нижним миражом*. Иногда можно наблюдать и боковой мираж, когда изображение предмета появляется сбоку самого предмета.

Причиной миража является прохождение луча света от предмета к глазу наблюдателя через слои воздуха различной плотности. При этом луч света отклоняется от первоначального направления и претерпевает полное внутреннее отражение от поверхности слоя воздуха малой плотности.

Верхний мираж особенно часто наблюдается в полярных странах или в средних широтах зимой. Нижние слои воздуха над льдом или снежным покровом сильно охлаждены и поэтому уплотнены, а выше наблюдается резкое падение плотности. В этих слоях с резко уменьшающейся вверх плотностью и происходит большое искривление световых лучей, идущих от предмета. Поэтому становится видимым даже тот предмет, который находится так далеко, что его наблюдатель иногда и не видит (рис. 33).

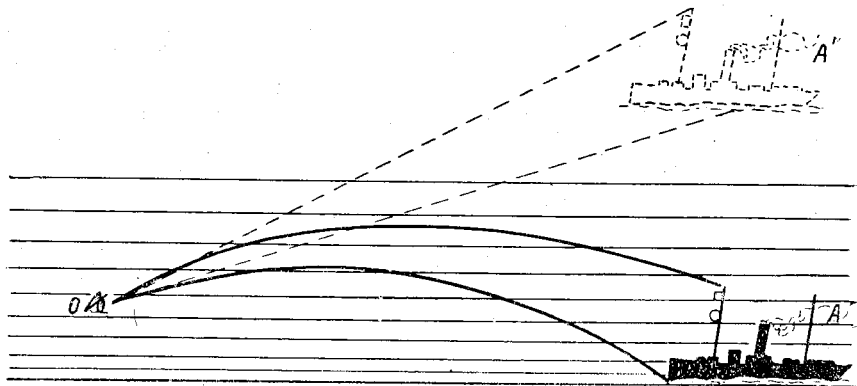


Рис. 33. Искривление луча при образовании верхнего миража.

Иногда удается наблюдать сложный верхний мираж, когда над предметом можно видеть несколько его изображений, причем некоторые из них прямые, другие — обратные.

Вызывается это явление тем, что над местом наблюдения расположены несколько слоев воздуха с переменной плотностью, т. е. сначала идут слои более плотные, над ними менее плотные, затем опять уплотненные. Тогда в этих слоях воздуха будут отражаться и доходить до глаза наблюдателя лучи, идущие от предмета под различными углами, они и будут давать в слоях различной плотности то прямые, то обратные изображения.

Нижний мираж можно чаще наблюдать на юге в пустынях, в наших юго-восточных степях, обычно в утренние часы. В это время благодаря ясному небу нижние, прилегающие к земной поверхности слои воздуха уже нагрелись и плотность их мала, вышележащие же слои еще холодные и плотные. Луч света, идущий от предмета, изгибается и направлен выпуклостью к земной поверхности, а наблюдатель видит предмет по направлению, ка-

сательному к действительному лучу, поэтому наблюдатель увидит перевернутое изображение предмета, расположенное ниже его действительного положения (рис. 34).

Явление нижнего миража часто сопровождается как бы явлением водной поверхности под прямым изображением предмета. Вызывается это тем, что часть неба, находящаяся позади предмета, также дает изображение внизу. Оно и производит впечатление водной поверхности, в которой отражается предмет. В описании путешествий по южным странам упоминается, как томимые жаждой путешественники вдруг видели перед собой огромное озеро, они спешили к нему, но оно все отодвигалось от них и, наконец, исчезло.

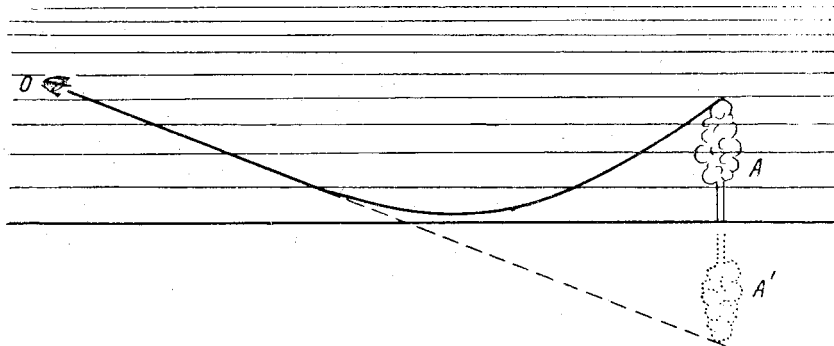


Рис. 34. Искривление луча при образовании нижнего миража.

Неустойчивость изображения, колебание всей картины усиливают сходство с волнующейся водной поверхностью, тем более, что цвета неба и водной поверхности бывают очень близки друг к другу. Поэтому вид изображения неба ниже горизонта почти точно совпадает с видом воды, с которой чаще всего и сравнивают нижний мираж. При изменении цвета неба (дымка, облака) изменяется и цвет миража. Например, он напоминает снег, когда небо тусклого белесого цвета.

Несколько участков аномального распределения плотности воздуха вызывают появление нескольких полос неба, чередующихся с полосами земли и видимых ниже горизонта.

Среди черноты асфальтированного шоссе рано утром, когда солнце имеет высоту лишь немного более  $5^\circ$ , бывает видна белая полоса, видимая только на полотне дороги на  $1/4^\circ$  ниже горизонта и напоминающая иногда бетонированный участок шоссе. Митоний вид этого миража вызывается тем, что отражаемое небо покрыто вблизи горизонта пеленой плотных перистых облаков.

Около полудня нами в пустыне несколько раз наблюдался нижний мираж в его типичной форме волнующейся воды, выше которой была отлично видна цепь гор или дома с деревьями. Иногда наблюдались только понижения горизонта.

Мираж бывает довольно устойчивым. Например, в одном случае машина на скорости 60 км/час шла около десятка минут, а обманчивая полоса воды непрерывно держалась где-то впереди, приподнимаясь или опускаясь, сжимаясь или расширяясь. Иногда же мираж то появляется, то исчезает: когда порывы ветра восстанавливают нормальное распределение плотности воздуха с высотой или когда автомашина движется по волнистой дороге, неравномерно нагретой в отдельных ее участках.

Боковые миражи — явление редкое. Они могут наблюдаться там, где имеется вертикальная поверхность, обращенная к югу, которая иногда освещена солнцем, иногда затенена. Здесь вследствие этого создаются вертикально расположенные слои воздуха с различной плотностью, причем расположение этих слоев нарушается. Это может иметь место у высоких каменных стен или у вертикально расположенных скал на берегу моря или озера.

## Глава XI

### НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

#### ГРОЗА

Гроза всегда привлекала к себе внимание людей, стремящихся к познанию явлений природы. Поэтому имеются не только стародавние записи наблюдений гроз, но и их красочные описания как художниками слова, так и живописцами.

*Гроза* представляет собой сочетание трех основных явлений: 1) огромного электрического разряда в виде искры — молнии, 2) громкого звука от этого разряда — грома и 3) мощного конвективного облака, из которого проскакивает искра.

Для образования грозы, особенно в летнее время, характерно развитие на небе мощных ливневых облаков.

В жаркий летний день струи нагретого у земной поверхности воздуха делают более легкими и поднимаются вверх. Поднявшись на значительную высоту, воздух охлаждается, а содержащийся в воздухе водяной пар конденсируется, переходит в капельки воды и образует облако. Разрастаясь ввысь, вершина такого облака достигает границ столь низкой температуры, что водяные капли замерзают и образуются кристаллики льда. Вершина облака оледеневает. Это вполне развитые грозовые облака и из них начинает выпадать дождь, они прорезываются молниями и дают раскаты грома.

*Молния* проскакивает или между отдельными частями облака, где накопилось большое количество разноименных зарядов, или между двумя облаками, или между облаком и земной поверхностью. По исследованиям, проведенным в последние годы, разделение зарядов в грозовом облаке происходит по двум причинам.

Во-первых, капли воды в облаке заряжены. Это обнаружено исследователями уже давно. Нижняя часть капли заряжена положительно, а отрицательный заряд располагается в верхней части капли. В нижней части облака, где скапливаются более крупные капли и где наблюдаются сильные восходящие токи воздуха, большие капли разбрызгиваются на более мелкие. При разбрызгивании капли от ударов воздуха от нее отскакивают верхние мелкие частицы, заряженные отрицательно, а более тяжелая крупная частица капли остается заряженной положительно. Таким образом, нижняя часть грозового облака, где скапливаются крупные капли, оказывается заряженной поло-

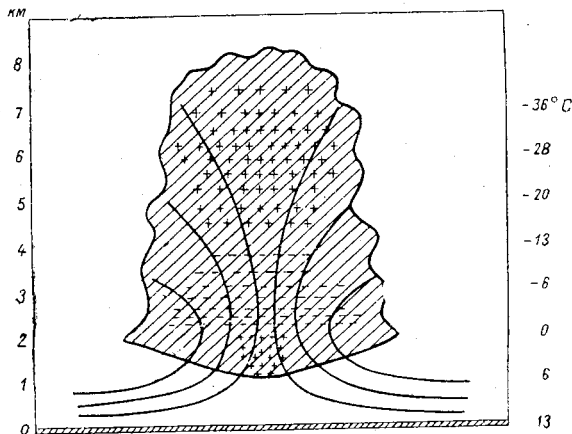


Рис. 35. Электрические заряды и линии тока воздуха в грозовом облаке.

жительно, а мелкие, отрицательно заряженные капли, уносятся восходящими потоками воздуха в более высокие слои облака.

Во-вторых, в верхней оледенелой части облака электризация происходит от трения ледяных кристалликов при сильных линиях течения в облаке. При этом более мелкие пылевые части кристалликов заряжаются положительно и уносятся в верхнюю часть облака, а более крупные заряжаются отрицательно и вследствие большей тяжести опускаются в среднюю часть облака (рис. 35).

Таким образом, в грозовом облаке происходит разделение положительных и отрицательных зарядов, а электрические заряды противоположных знаков всегда стремятся соединиться друг с другом. Это соединение и создает электрическую искру молнию.

По внешнему виду молнии бывают различного типа. Наиболее часто наблюдается так называемая *линейная молния*. Это яркая узкая полоса белого, фиолетового или голубоватого цвета, иногда сильно разветвленная, которая проскикивает между двумя облаками или облаком и землей (рис. 36 и 37).

Если разряд происходит внутри облака, между отдельными его частями, то наблюдается так называемая *плоская молния*. Она видна в виде яркой вспышки в облаке. С этой молнией не следует смешивать так называемую *зарницу*, которая на самом деле есть отблеск на облаках далекой линейной молнии. При зарнице грома не бывает слышно.

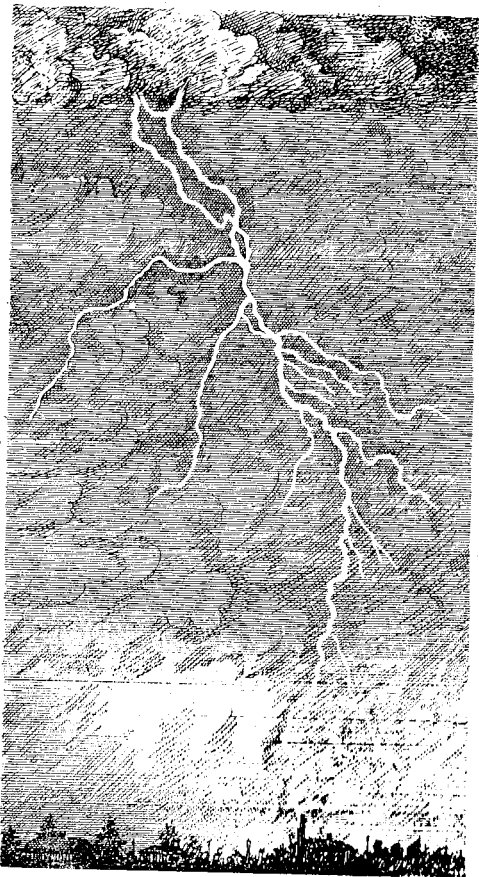


Рис. 36. Вертикальная молния между грозовым облаком и землей.

Очень редко удается наблюдать так называемую *шаровую молнию*. Это газовый шар, обычно голубоватого цвета, размером от 10 до 30 см. Он очень легкий и движется обычно вместе с воздушным потоком. Иногда шаровая молния взрывается и причиняет бедствия, особенно когда вместе с воздушным потоком попадает в помещение. Иногда она исчезает бесшумно. Природа этого типа молнии мало изучена.

Еще реже наблюдается так называемая *четочная молния*. Она имеет вид бус — состоит из нескольких шаров, соединенных между собой светящейся нитью длиной до 50—70 см.

Разряд, образующий молнию, проходит через воздух различными путями, обычно выбирая то направление, по которому легче пройти. При этом электрические

разряды проделывают в воздухе канал, по которому и протекают. Длина этого канала, т. е. длина молнии, в среднем составляет 2—3 км, но при разряде между облаками может достигать до 10—15 и даже до 40 км.

Разряд молнии обычно сопровождается *громом*. Часто гром начинается как бы с отдельных сильных выстрелов, за которыми следует грохот, а затем затихающее урчание.

Явление грома происходит оттого, что канал, по которому



проходит разряд, очень быстро и сильно нагревается и от нагревания расширяется. Расширение это происходит в несколько миллионных долей секунды и поэтому этот процесс походит на взрыв.

Раскаты грома слышны потому, что при большой протяженности канала молнии звуковые волны от отдельных его частей приходят к наблюдателю одна за другой. Кроме того, звуковые волны могут доходить до нас не только прямым путем, но и отраженные от различных частей облака и от земной поверхности.

Молния и гром происходят одновременно, но мы слышим гром обычно после того, как видим вспышку молнии. Это объясняется тем, что свет в атмосфере распространяется почти мгновенно, тогда как звук — только со скоростью около 330 м/сек.

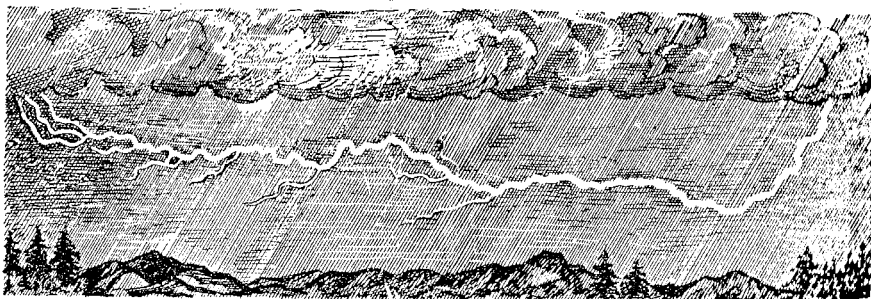


Рис. 37. Горизонтальная молния между облаками.

Таким образом, если между вспышкой молнии и громом проходит около 6 секунд, это означает, что молния ударила на расстоянии около 2 км от наблюдателя.

В метеорологии различают *близкую грозу*, если гром слышится после вспышки молнии не более чем через 10 секунд, и *отдаленную грозу*, если между вспышкой молнии и началом грома проходит более 10 секунд.

Гроза ежегодно приносит большие убытки. Молния поражает здания, зажигает леса, портит линии связи и электропередачи.

Советский народ не склоняется перед стихией. На основе научного знания он изучает законы природы и, используя их, ограничивает сферу действия ее разрушительных сил. Энергетический институт Академии наук СССР разработал целую систему грозозащитных мероприятий. Они сберегают много средств народному хозяйству нашей Родины.

#### ТИХИЕ СВЕТЯЩИЕСЯ РАЗРЯДЫ

Во время грозы или перед грозой, во время грозового состояния в атмосфере на высоких предметах с острыми концами (башнях, мачтах, камнях на вершинах гор, вершинах высоких деревьев) появляются светящиеся огни в виде пылочки пламени или светящихся кисточек голубоватого цвета. На концах пальцев под-

нятой руки также можно заметить свечение, а волосы человека поднимаются дыбом и голова может светиться. При этом слышатся шелест и легкое потрескивание. Подобное явление называют *огнями Эльма*.

Причина этого явления заключается в том, что в грозовой туче и на земле скапливаются заряды противоположного знака, они стремятся соединиться, но, не обладая еще достаточным напором, они не могут разрядиться в форме молнии. Скапливаясь на остроконечных предметах, заряды оттуда стекают в воздух в виде слабо светящихся огней.

Такое же свечение можно заметить ночью около проводов линий электропередачи высокого напряжения. Оно также является рассеянием электричества в воздухе.

В литературе встречаются описания снежных метелей, сопровождающихся вспышками фиолетово-голубого сияния, которое, точно молния, озаряет крутящиеся в воздухе снежинки. Такое же явление отмечается в горах при падении снежных лавин, которые ночью становятся видимыми благодаря внезапным вспышкам огней голубоватого и иногда желтоватого цвета.

Это *свечение* также вызывается электрическими явлениями, которые возникают при трении мелких сухих кристалликов снега друг о друга или о поверхность снежного покрова.

## ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ

*Полярные сияния* представляют собой очень красивое зрелище. Среди полной тишины на темном небе возникают то неподвижные, то быстро сменяющиеся свечения высоких слоев атмосферы.

Иногда сияния появляются в виде дуги, напоминающей радугу с довольно резко ограниченным на фоне темного неба нижним краем, или в виде равномерного размытого свечения.

Иногда сияние бывает лучистого строения, быстро перемещающееся по небу в виде отдельных лучей или в виде неслышно колеблющихся громадных завесей.

Изучению этого интересного явления посвящено много работ. Сейчас уже хорошо известно, что высота нижнего края полярных сияний достигает 60--80 км, наиболее высокие сияния достигают своим верхним краем высоты 1100--1200 км.

Географическое распределение полярных сияний по земному шару закономерно. Наибольшая повторяемость их (более ста в год) в северном полушарии наблюдается на расстоянии около 25° от магнитного полюса. На широте Ленинграда можно наблюдать в среднем до 5 полярных сияний в год, южнее — повторяемость их уменьшается, но иногда сияния бывают видны и на самых южных окраинах Советского Союза.

Хорошо изучен также спектр полярных сияний, что дает возможность судить о составе воздуха в высоких слоях атмосферы.

Вопрос о природе полярных сияний и о причинах, их вызывающих, издавна привлекал внимание людей. Наши предки считали его чудесным небесным знамением, предвещающим войну или другие несчастья, как об этом упоминается в летописях. Народы севера, где полярные сияния часты, привыкли к ним и меньше их боялись.

Вполне разработанной теории, которая объясняла бы все явления, сопровождающие полярные сияния, еще нет. Большая часть теорий, проверенных также на опыте, склоняется к тому, что полярные сияния вызываются потоками особых частиц, идущих от солнца. Попадая в атмосферу земли, эти частицы вызывают свечение ее разреженных частей, а благодаря магнитному полю земли они собираются около магнитных полюсов земли.

Необходимо помнить, что первое научное объяснение этого величественного явления было дано великим русским ученым М. В. Ломоносовым двести лет тому назад. Проведя детские и отроческие годы в Архангельской области, М. В. Ломоносов всю жизнь обращался к северу, то разгадывая тайну свойственных северу явлений, то давая практические советы мореходам по освоению арктических морей. Ломоносов первый указал на то, что полярные сияния вызваны действиями электрических сил.

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
<b>Введение</b> . . . . .	3
Многообразие атмосферных явлений . . . . .	4
Как пар превращается в воду . . . . .	6
<b>Глава I. Отложение воды на наземных предметах</b> . . . . .	8
Роса . . . . .	8
Жидкий налет . . . . .	9
Наморось (оседание капель тумана) . . . . .	10
Вода растаявшего инея . . . . .	11
<b>Глава II. Иней и его двойники</b> . . . . .	11
Радиационный иней . . . . .	13
Инейевые цветы . . . . .	15
Твердый налет . . . . .	17
<b>Глава III. Переохлажденная вода</b> . . . . .	20
Дождь при морозе . . . . .	20
Замерзание переохлажденных капель . . . . .	21
Испарение капель и рост кристаллов льда . . . . .	22
Образование переохлажденных осадков . . . . .	23
<b>Глава IV. Обледенение проводов и деревьев</b> . . . . .	25
Кристаллическая изморозь . . . . .	25
Зернистая изморозь . . . . .	28
Гололед . . . . .	32
Замерзшие капли воды на предметах . . . . .	34
Налепь . . . . .	35
Замерзшая налепь . . . . .	36
<b>Глава V. Осадки</b> . . . . .	38
Виды осадков . . . . .	38
Жидкие осадки . . . . .	39
Образование дождя . . . . .	40
Цветной дождь . . . . .	43
Морось и дождь при морозе . . . . .	44
Твердые осадки . . . . .	44
Снег . . . . .	44
Снежная крупа и снежные зерна . . . . .	48
Град . . . . .	50
Ледяной дождь . . . . .	54
Покров твердых осадков . . . . .	55

	Стр.
Глава VI. Туманы . . . . .	56
Радиационный туман . . . . .	58
Адвективный туман . . . . .	60
Туман испарения . . . . .	60
Сибирский (поселковый) туман . . . . .	61
Адиабатический туман . . . . .	62
Интенсивность тумана . . . . .	63
Дымка и другие виды замутнения воздуха водяными частицами . . . . .	65
Глава VII. Замутнение воздуха ледяными частицами . . . . .	66
Ледяные кристаллы в приземном слое воздуха . . . . .	66
Снежные метели . . . . .	67
Глава VIII. Замутнение воздуха пылью . . . . .	68
Плотная пыль и пыльные бури . . . . .	69
Пылевой поземок и сухая мгла . . . . .	70
Глава IX. Бури и смерчи . . . . .	71
Буря и ураган . . . . .	71
Шквал . . . . .	72
Пыльные вихри . . . . .	72
Смерч . . . . .	73
Глава X. Световые явления в атмосфере . . . . .	77
Радуга . . . . .	78
Венцы . . . . .	80
Гало . . . . .	81
Мираж . . . . .	83
Глава XI. Некоторые электрические явления в атмосфере . . . . .	86
Гроза . . . . .	86
Тихие светящиеся разряды . . . . .	89
Полярные сияния . . . . .	90

Автор *Александр Дмитриевич Заморский.*  
Ответственный редактор *Б. П. Кароль.*  
Редактор *М. М. Ясногородская.*  
Рисунки и обложка художника *Г. Т. Жамкочьяна.*  
Техн. редактор *М. И. Брайнина.*    Корректор *М. П. Бушева.*

Сдано в набор 13/II 1954 г.    Подписано к печати 31/V 1954 г.  
Бумага 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.    Печ. л. 6.    Уч.-изд. 6,04 л.    Бум. л. 3.  
Тираж 15000 экз.    М-35280.    Инд. МЛ-45.    Заказ 359.  
Цена 1 руб. 80 коп.    Гидрометеиздат, Ленинград, В. О.,  
2-я линия, 23.

2-я типо-литография Гидрометеиздата, Ленинград,  
Прачечный пер., д. 6.

## ИМЕЕТСЯ НА СКЛАДЕ

Научно-популярная литература

- Андреева Е. В. Наука о погоде на службе Родины. Ц. 4 р.  
Антимонов Н. А. Исследование малых рек. Ц. 1 р. 80 к.  
Антимонов Н. А. Массовые снегомерные съемки. Ц. 1 р. 06 к.  
Бачурина А. А. и Туркетти З. Л. Атмосферные фронты.  
Ц. 2 р. 85 к.  
Бенашвили И. А. Уровень Каспийского моря, его прошлое,  
настоящее и будущее. Ц. 80 к.  
Берлянд М. Е. и Красиков П. Н. Борьба с заморозками  
и их предсказание. Ц. 1 р. 75 к.  
Бугаев В. А. На леднике Федченко. Ц. 2 р. 25 к.  
Гаврилов А. М. Сельские ГЭС и гидрология. Ц. 65 к.  
Гаврилов А. М. и Богомазова З. П. Практическая гидрология. Ц. 4 р.  
Заварина М. В. Обледенение самолетов и как его избежать.  
Ц. 1 р. 40 к.  
Калитин Н. Н. Оптические явления в атмосфере. Ц. 2 р. 40 к.  
Кароль Б. П. Снежный покров. Ц. 2 р. 80 к.  
Кирюхин Б. В. и Красиков П. Н. Облака, дождь и снег.  
2-е перераб. издание. Ц. 2 р. 35 к.  
Кладо Т. Н. Климат, его значение и методы изучения. Ц. 2 р. 40 к.  
Максимов С. А. Засуха. Ц. 85 к.  
Максимов С. А. Метеорология и сельское хозяйство. Ц. 2 р.  
Погосян Х. П. Циркуляция атмосферы. Ц. 2 р. 65 к.  
Поляков Б. В. Освоение малых рек и изучение гидрологического  
режима. Ц. 4 р.
- 
- 

**Заказы высылаются наложенным платежом  
или по предварительной оплате.**

**Заказы и деньги направлять по адресу:  
Ленинград, 53, В. О., 2-я линия, д. 23.**