

11 Активные воздействия на облака и туманы

Сведения о текущем состоянии природной среды, прогнозы и предупреждения о неблагоприятных явлениях природы помогают предотвратить или снизить убытки, приносимые этими явлениями, а при правильном и заблаговременном использовании этой информации — добиться большого экономического эффекта. Однако нельзя ли предотвратить неблагоприятные для деятельности человека природные явления или изменить их развитие в нужном для человека направлении?

Несмотря на то, что вопрос этот поставлен давно, длительное время человек был бессилен перед стихийными явлениями природы. Все дело в том, что природные, в частности атмосферные, явления и процессы обладают огромной энергией. Так, энергия, которая связана с образованием мощного кучевого облака, вполне сравнима с энергией нескольких крупнейших гидроэлектростанций, вырабатываемой ими за время развития облака. Для изменения направления ветра в пределах одной лишь области потребовалось бы затратить энергию, которую вырабатывают все электростанции мира. Энергия, выделяемая при взрыве самого мощного термоядерного устройства, ничтожно мала по сравнению с энергией циклона.

Отсюда следует, что прямой (лобовой) путь воздействия на атмосферные явления и процессы не может привести к положительным результатам. Однако эти явления и процессы обладают одной интересной особенностью — возможны случаи их неустойчивого состояния, когда достаточно сравнительно небольшого (по энергии), толчка, чтобы направить развитие процесса по нужному для нас пути. Так, введение в переохлажденное облако некоторого (ничтожного по сравнению с массой воды в облаке) количества специальных веществ приводит к саморазвивающейся реакции, заканчивающейся выпадением осадков и рассеянием облака.

В последние десятилетия предложены способы воздействия на многие атмосферные явления и процессы. Тем не менее положительные результаты получены лишь в отношении управления развитием облаков и образованием осадков.

Проблема активного воздействия на облака и туманы представляет большой интерес с точки зрения обеспечения работы авиации, поскольку взлет, посадка и условия полетов в сильной степени зависят от тумана и облачности. Увеличение количества осадков искусственным путем в районах недостаточного увлажнения имеет большое значение для сельского хозяйства. Можно также указать и на такую сторону этого вопроса, как заблаговре-

менное воздействие на развивающееся мощное кучевое облако, которое может перерасти в кучево-дождевое, с целью предотвращения градобития.

Известно несколько методов активного воздействия на облака и туманы. Эти методы можно разделить на три группы, в основе которых лежит воздействие на неустойчивость фазового состояния воды, на коллоидную неустойчивость системы облачных капель и на термическую устойчивость атмосферы.

Вещества, применяемые для воздействия, в свою очередь можно разбить на несколько групп: кристаллизующие реагенты (AgI , PbI_2 , CO_2 , CuS , флороглюцин, метальдегид и др.), гигроскопические реагенты (NaCl , CaCl_2 и др.), поверхностно-активные вещества.

В качестве технических средств, с помощью которых реагенты вносятся в облака и туманы, используются: аэрозольные генераторы или распылители, устанавливаемые на борту самолета или на земной поверхности; пиропатроны, запускаемые с самолета; различные самолетные дозирующие установки; артиллерийские снаряды и ракеты; метеотроны.

Наибольшее количество опытов проведено с помощью самолетных и наземных генераторов. Однако в последние десятилетия стали широко применяться пиропатроны, артиллерийские снаряды и ракеты.

Наиболее полно как с теоретической, так и экспериментальной стороны исследованы способы воздействия на переохлажденные облака с помощью твердой углекислоты и иодистого серебра. Эти способы получили достаточно широкое распространение и испытаны к настоящему времени не только в лабораторных, но и в полевых (естественных) условиях. Полученные результаты испытаний позволяют считать, что эти способы могут быть эффективно использованы на практике. Остановимся кратко на физической стороне воздействия на облака и туманы различными способами, применяемыми в Советском Союзе и других странах.

Твердая углекислота (сухой лед) представляет собой кристаллическую массу матово-белого цвета с температурой кипения $-78,9^\circ\text{C}$ и плотностью $1,53 \text{ г/см}^3$.

Если в воздух вносится частица твердой углекислоты, то вблизи нее под влиянием испарения частицы воздух сильно охлаждается. Охлаждение служит основной причиной пересыщения водяного пара, которое при этом может быть настолько значительным, что превзойдет критическое значение, необходимое для образования капель и кристаллов льда непосредственно на комплексах молекул водяного пара.

Количество образующихся зародышевых кристаллов льда под влиянием охлаждения определяется тем объемом воздуха, в котором температура ниже некоторого значения, согласно лабораторным исследованиям, равного $-39 \dots -41^\circ\text{C}$. При температуре

ниже -40°C из комплексов молекул водяного пара образуются устойчивые ледяные зародыши.

Количество ледяных кристаллов N , образующихся в результате полного испарения 1 г твердой углекислоты, введенной в облако по методу сброса, следующее:

$T^{\circ}\text{C}$	-1	-5	-10	-15	-20
N	$5,5 \cdot 10^{11}$	$7,3 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{13}$	$9,0 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{14}$

Согласно этим данным, при испарении 1 г твердой углекислоты в зависимости от температуры окружающего воздуха образуется от $5 \cdot 10^{11}$ до $1,2 \cdot 10^{14}$ ледяных кристаллов. С понижением температуры N возрастает.

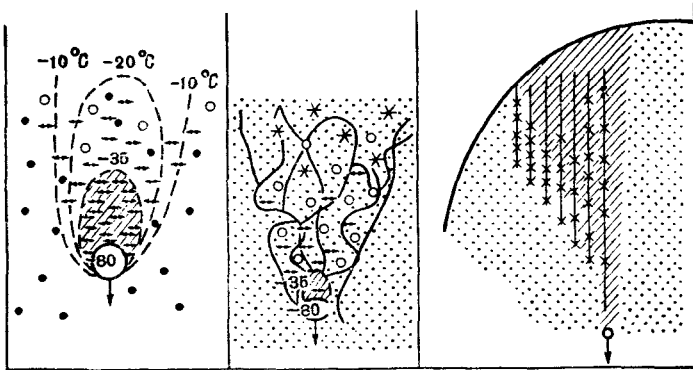


Рис. 18.14. Схема воздействия на переохлажденное облако с помощью твердой углекислоты и последующего роста ледяных кристаллов.

Зная время испарения t^* и скорость падения, можно оценить путь Δz , который проходит сферическая частица CO_2 диаметром d до полного испарения:

d см	1,0	0,4	0,2	0,1	0,04	0,02	0,01
t^* с	350	127	59	26	8	3	1
Δz м	4300	1130	330	82	10	1,6	0,3

Падающая частица CO_2 охлаждает воздух в объеме, который под влиянием молекулярной теплопроводности увеличивается со временем. Картина распространения охлаждения и ледяных зародышей в облаке имеет вид, изображенный на рис. 18.14.

Скорость образования ледяных ядер в охлажденном объеме увеличивается по мере приближения к поверхности CO_2 (т. е. при понижении температуры): она изменяется от $6,7 \cdot 10^7$ ядер в 1 см^3 в 1 с при температуре -40°C до $1,5 \cdot 10^{17}$ ядер в 1 см^3 за 1 с при температуре -70°C . Образовавшиеся под влиянием охлаждения ледяные зародыши начинают расти за счет перегонки водяного пара с переохлажденных капель. Под влиянием этого процесса в тех случаях, когда происходит испарение всех капель, а кристаллы вырастают до таких размеров, что выпадают из облака, облачность в зоне определенной ширины полностью рассеивается. Размеры этой зоны определяются скоростью распространения кристаллов льда под влиянием турбулентного обмена.

Если засева облака производится с самолета путем испарения брикета (брикета) CO_2 или по способу сбрасывания гранулированной твердой углекислоты, то в первом приближении объем воздуха, в котором в исходный момент сосредоточены кристаллы льда, представляет собой цилиндр, ось которого совпадает с направлением движения самолета. После того как частицы CO_2 , сброшенные с самолета, полностью испарятся, ледяные кристаллы, образовавшиеся под влиянием охлаждения и вызванного им переноса водяного пара, переносятся в облаке, с одной стороны, воздушным потоком, а с другой — под влиянием турбулентного обмена.

Направим ось x вдоль оси цилиндра (пути движения самолета). Статистическая теория турбулентности для среднего расстояния $l/2$, на которое распространяются к моменту времени t кристаллы льда и рассеивается облачность, дает следующее выражение: $l/2 = \sqrt{2kt}$, где k — коэффициент турбулентности.

В. И. Беляев и др. для расчета скорости распространения фронта кристаллизации, который практически совпадает с границей зоны рассеяния облака, воспользовались той теоретической моделью, которая изложена в п. 4 главы 15. Температура облака принята равной -15°C , водность облака $0,15 \text{ г/м}^3$, число капель $n = 500 \text{ см}^{-3}$.

Результаты расчета ширины зоны кристаллизации l при разных значениях коэффициента турбулентности k и числа ядер кристаллизации N_2 в вертикальном столбе с основанием 1 см^2 в плоскости засева (рассмотрена плоская задача) приведены на рис. 18.15. На этом рисунке нанесены экспериментальные значения ширины зоны кристаллизации l по данным 30 опытов, проводившихся в облаках с водностью от $0,02$ до $0,4 \text{ г/м}^3$, температурой от $-5,5$ до $-17,8^\circ\text{C}$ и толщиной от 100 до 600 м . Расход (дозировка) CO_2 колебался в пределах 20 — 400 г на пути 1 км . Основная часть экспериментальных точек соответствует $k = 25 \text{ м}^2/\text{с}$. Продолжительность расширения зоны кристаллизации составляла 50 мин, после чего начинался процесс заполнения зоны облака каплями. К моменту прекращения процесса кристаллизации

ширина зоны была равна 2—5 км. Средняя скорость расширения зоны кристаллизации равнялась 1—2 м/с. При этом установлена совершенно отчетливая прямая зависимость скорости расширения зоны от скорости ветра в облаке, а также от вертикального градиента температуры в облачном слое.

Наряду с твердой углекислотой для воздействия на облака применяются вещества (такие, как иодистое серебро AgI , иоди-

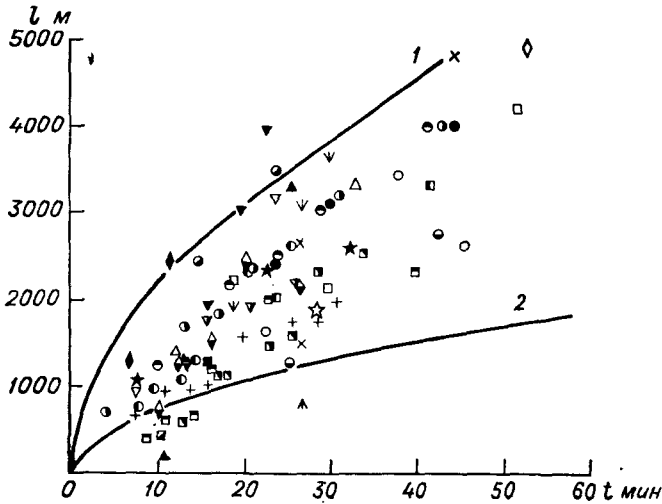


Рис. 18.15. Ширина зоны кристаллизации облака при воздействии на него твердой углекислотой (кривые 1 и 2 — расчетные).

стый свинец PbI_2 и др.), структура кристаллической решетки которых геометрически подобна структуре льда, а также некоторые гигроскопические вещества (NaCl , CaCl_2 и др.). Введенные в облако частицы таких веществ выполняют роль зародышей (ядер кристаллизации), на которых образуются мельчайшие кристаллы льда. Дальнейший рост их происходит под влиянием перегонки водяного пара с переохлажденных капель на кристаллы льда вследствие разности давлений насыщенного пара над водой и льдом. Засев облаков и туманов твердой углекислотой, иодистыми соединениями и другими реагентами обычно преследует следующие цели: а) рассеяние переохлажденных облаков и туманов (с тем, чтобы, например, раскрыть взлетно-посадочную полосу на аэродроме); б) ускорение выпадения осадков; в) предотвращение выпадения града.

Из результатов многочисленных опытов, проведенных на полигоне вблизи Днепропетровска (Украина), следует, что облака

St—Sc удается рассеять и вызвать осадки из них, если температура облачного слоя ниже -3°C , водность облака не менее $0,05 \text{ г/м}^3$, толщина его больше 250 м и скорость ветра не превышает $10\text{—}12 \text{ м/с}$.

Широкий размах в Советском Союзе и многих других странах получили работы по искусственному воздействию на конвективные облака с целью вызывания дополнительных осадков и предотвращения градобитий. Из анализа данных многочисленных опытов по воздействию на мощные кучевые облака (Cu cong.) следует, что при температуре воздуха (T_H) на уровне верхней границы (засев которой проводился твердой CO_2) выше -4°C осадки не наблюдались, при T_H от -4 до -12°C осадки выпадали в ряде случаев, а при T_H ниже -12°C — во всех случаях воздействия. Во всех случаях осадки выпадали из Cu cong., толщина которых больше 3,6 км, а толщина переохлажденной части больше 2,2 км. Наоборот, во всех случаях осадки не выпадали из Cu cong., толщина которых меньше 2,1 км, а толщина переохлажденной части меньше 0,6 км. Время образования осадков из подвергнутых воздействию Cu cong. при засеве их твердой CO_2 составляет $9\text{—}12$ мин, продолжительность выпадения осадков чаще всего приходится на интервал $20\text{—}40$ мин.

При воздействии на кучево-дождевые облака (прежде всего с целью охраны виноградников на Северном Кавказе, в Молдавии, Средней Азии, на Украине) с помощью радиолокационной техники с наибольшей заблаговременностью обнаруживается грозовой очаг. Для доставки в очаг реагентов используются зенитные орудия и специальные противогородовые ракеты. При взрыве снаряда или головной части ракеты реагент распыляется. Образовавшиеся при этом мельчайшие частицы служат ядрами, на которых образуются кристаллы льда. Рост этих искусственно созданных кристаллов ограничивает укрупнение градин и тем самым или полностью предотвращает выпадение града или уменьшает его интенсивность.

Помимо перечисленных выше, можно назвать и ряд других способов воздействия на облака и туманы.

Заслуживают внимания так называемые метеотроны, применяемые для стимулирования конвективных процессов за счет создания перегрева воздуха у земной поверхности. Перегрев воздуха может быть достигнут не только благодаря сжиганию различных видов топлива, но и путем искусственного изменения поглощательных и отражательных свойств отдельных участков подстилающей поверхности. Как показали опыты, при благоприятных условиях в атмосфере метеотроны способствуют созданию мощных кучевых облаков.

Для стимулирования процесса облакообразования или, наоборот, для рассеяния облачности и туманов применяются динамические методы, основанные на создании восходящих или нисходящих

щих движений воздуха с помощью летательных аппаратов (направленные струи от двигателей самолетов, винтов вертолетов).

Можно назвать еще несколько методов воздействия на облака и туманы, которые в настоящее время по различным причинам еще не нашли достаточно широкого практического применения: 1) изменение поглощательных свойств туманов и облачности путем введения в них мелко диспергированных частиц примесей с большим коэффициентом поглощения; 2) акустические методы; 3) электрические методы; 4) лазерные методы. Не исключено, что эти методы в дальнейшем по мере развития технических возможностей найдут широкое практическое применение.