

Глава 18 Осадки

1 Классификация осадков

Капли воды и кристаллы льда, выпадающие из атмосферы на земную поверхность, называются *осадками*. Количество осадков измеряют толщиной слоя жидкой воды, который мог бы образоваться после выпадения осадков на горизонтальную непроницаемую поверхность.¹ *Интенсивностью осадков* называют количество осадков, выпадающих за единицу времени (например, 1 ч).

Различают следующие *виды осадков* (классификация по форме).

1. *Морось* — довольно однородные осадки, состоящие из мелких капель (радиусом меньше 0,25 мм), которые почти не имеют направленного движения и кажутся плавающими в воздухе. Выпадает морось из слоистых (St) и слоисто-кучевых (Sc) облаков, а также при рассеивании тумана. Интенсивность осадков при мороси не превышает 0,25 мм/ч, скорость падения капель в неподвижном воздухе менее 0,3 м/с.

2. *Дождь* — жидкие водяные осадки, состоящие из капель радиусом более 0,25 мм. Наблюдения показывают, что капли радиусом больше 2,5—3,2 мм не встречаются — они сплющиваются и разбиваются на более мелкие (рис. 18.1).

Дробление капель происходит следующим образом: при попадании капли в поток она сплющивается, затем средняя часть капли выдувается и происходит ее отрыв, сохранившееся кольцо распадается на отдельные капли. Опыты в камерах позволили установить критерий дробления капель разных жидкостей. Если капля радиусом r падает со скоростью v в потоке газа, плотность которого ρ , скорость движения u и коэффициент поверхностного натяжения σ , то капля начинает дробиться, когда величина $\rho(u - v)^2 \times r / \sigma$ достигает значения $1,75 \pm 0,2$ (здесь ρ в г/см³, u и v в м/с, r в мм, σ в мДж/м²). В турбулентном потоке дробление капель начиналось при значении этой величины около 1,1. Для капель радиусом 4,25—6,25 мм, падающих в спокойном воздухе, число брызг колебалось от 3 до 97, наиболее часто образовывалось 30—40 брызг. Преобладающий радиус брызг составлял 0,75—1 мм.

¹ Обычно количество осадков измеряют в миллиметрах; 1 мм соот-

ветствует массе осадков 1 кг, выпавших на площадь 1 м².

Скорость падения капель дождя достигает 8—10 м/с. Дождь выпадает из слоистодождевых (Ns) и кучево-дождевых (Cb) облаков, а также иногда из высоко-слоистых (As).

3. Снег — твердые осадки в виде кристаллов (снежинок). Наблюдается исключительно большое разнообразие форм снежинок. Наиболее простые из них иглы, столбики и пластинки. Кроме того встречаются многочисленные усложненные формы снежинок:

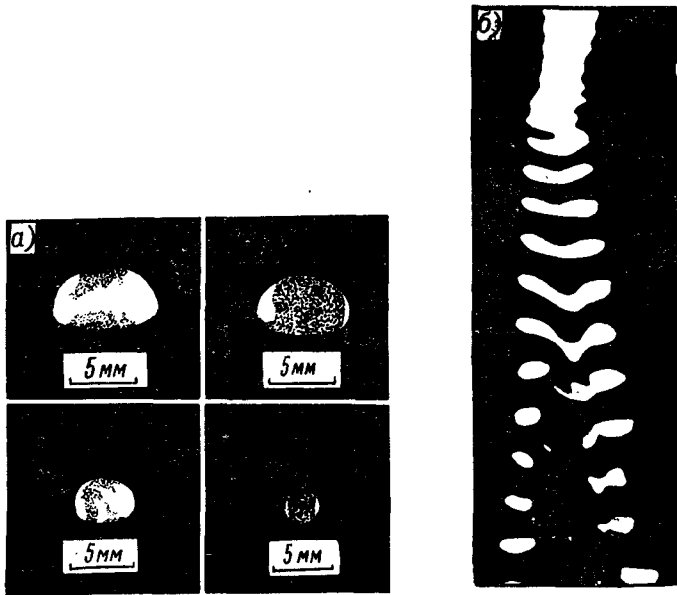


Рис. 18.1. Форма падающих водяных капель (а) и их разрыв (б).

игольчатые звезды; пластинчатые звезды; ежи, состоящие из нескольких столбиков; столбики с пластинками или звездами на концах и т. д. Некоторые столбики могут быть внутри пустыми или иметь вид бокалов; встречаются также 12-лучевые звезды.

Размеры отдельных снежинок могут быть весьма различными. Наибольшие линейные размеры обычно имеют игольчатые звезды (их радиус достигает 4—5 мм). В смешанных облаках часто наблюдается обзертание снежинок (замерзание переохлажденных капель при соударении со снежинкой), которые при этом приобретают матовый оттенок. Снежинки часто соединяются между собой и выпадают в виде больших хлопьев. Радиус хлопьев снега колеблется от 0,5 мм до 5 см; наблюдались хлопья радиусом до 15—20 см.

Снежные хлопья — весьма частое явление. Они наблюдаются в 14 % случаев при слабых и в 92 % при сильных снегопадах. Образованию снежных хлопьев способствует относительно высокая температура воздуха, большая густота снегопада, длительность пути падения и другие факторы. Предельно большие хлопья образуются при штиле или слабом ветре (1—2 м/с).

4. *Мокрый снег* — это осадки в виде снежинок и капель или тающих снежинок. Мокрый снег образуется тогда, когда вблизи земной поверхности температура близка к 0 °С или несколько выше.

5. *Крупа* — осадки, состоящие из ледяных и сильно обзерненных снежинок радиусом от долей до 7,5 мм, которые образуются в результате замерзания переохлажденных капель воды и обзернения снежинок.

В зависимости от соотношения между снежной и ледяной частями крупинки этот вид осадков подразделяют на снежные зерна, снежную и ледяную крупу (последнюю часто считают разновидностью града).

6. *Град* — частицы шарообразной формы с ледяными прослойками различной плотности. Радиус частиц 1—25 мм (наблюдались случаи выпадения градин радиусом более 15 см). Крупные градины имеют слоистое строение. В центре расположено матовое белое ядро, похожее на снежную крупу. Ядро обтянуто слоем прозрачного льда. Далее идут попеременно прозрачные и непрозрачные слои льда.

Градины образуются в кучево-дождевых облаках в результате слияния переохлажденных капель воды с зёрнами крупы, при котором происходит замерзание капель. Наиболее крупные градины образуются вследствие смерзания более мелких градин.

Генетически, т. е. в зависимости от физических условий образования, осадки подразделяются на следующие виды:

а) *обложные осадки* — это продолжительные и распространяющиеся на большую площадь осадки средней интенсивности, выпадающие из облаков Ns—As в виде дождя и снега, иногда мокрого;

б) *ливневые осадки* — осадки, выпадающие из кучево-дождевых облаков в виде дождя, снега, крупы, града. Эти осадки внезапно начинаются и кончаются, для них характерно резкое изменение интенсивности. Выпадение их часто сопровождается грозами и шквалами;

в) *морось или ледяные кристаллы* (при низких температурах) — осадки, выпадающие из плотных слоистых и слоисто-кучевых облаков, которые образуются в устойчиво стратифицированных воздушных массах.

Образование осадков и их интенсивность связаны с микрофизическим строением и вертикальной мощностью облаков. Результаты статистической обработки материалов 686 самолетных подъемов во фронтальной облачности приведены в табл. 18.1.

Таблица 18.1. Повторяемость (%) осадков из фронтальных облаков различных типов

Осадки	Тип облаков				
	I	II	III	IV	V
Отсутствуют	91	33	10	31	11
Не доходят до земной поверхности	3	14	12	7	6
Слабые	6	32	30	28	31
Умеренные	—	19	34	34	42
Сильные	—	2	14	—	10

Наибольшая повторяемость (около 90 %) приходится на осадки, выпадающие из облаков смешанного строения по всей толщине или в значительной их части (типы III и V). Из чисто кристаллических облаков и облаков, состоящих из отдельных слоев (типы II и IV), осадки выпадают примерно в 70 % случаев, из чисто водяных облаков (тип I) — лишь в 9 % случаев.

Если отнести повторяемость осадков к общему числу случаев, когда наблюдались облака, то окажется, что на облака типа I приходится 5 % всех случаев с осадками, доходящими до земли, типа II — 44 %, типа III — 28 %, типа IV — 11 % и типа V — 12 %.

Зависимость интенсивности и вида осадков от толщины облаков без разделения их на типы иллюстрирует рис. 18.2, построенный на основании 439 самолетных зондирований облачности. Согласно этому рисунку, между интенсивностью осадков и толщиной облаков существует практически линейная зависимость. Морось (М) выпадает при средней толщине облаков 850 м, дождь с моросью (ДМ) — при 1400 м, дождь (Д) — 2150 м, снег (С) — 2300 м, снег с дождем (СД) — 2600 м и дождь, образовавшийся при таянии ледяных частиц (ЛД) — при 3150 м.

Установлена зависимость фазы осадков от температуры воздуха у земной поверхности и средней температуры столба воздуха между изобарическими поверхностями 1000 и 850 гПа (характеристикой последней служит Φ — относительный геопотенциал поверхности 850 гПа над 1000 гПа, выраженный в декаметрах): при $\Phi < 128$ дам или $T_0 < -3^\circ\text{C}$ выпадают только твердые осадки, а при $\Phi > 132$ дам или $T_0 > 3^\circ\text{C}$, — только жидкие осадки. При значениях Φ , равных 128—132 дам, и T_0 , равных -3 — 3°C , наблюдаются три вида осадков — снег, снег с дождем (мокрый снег) и дождь.

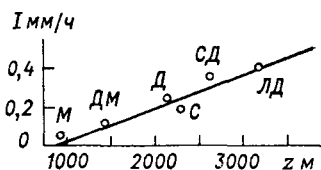


Рис. 18.2. Зависимость интенсивности осадков I от толщины облачности z .

С помощью рис. 18.3 а можно определить вид осадков у земной поверхности при значениях T_0 , близких к 0°C , и Φ , равных 130—131 дам. Когда по этому графику определить вид осадков затруднительно, следует пользоваться дополнительным графиком (рис. 18.3 б).

Осадки — наиболее изменчивое во времени и пространстве метеорологическое явление, поскольку их образование и интенсивность определяются разнообразными атмосферными условиями.

Наиболее благоприятные условия для формирования осадков большой интенсивности создаются в районах с высокой массовой

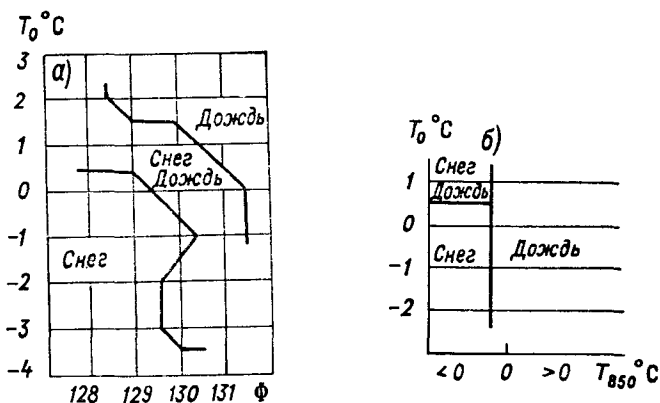


Рис. 18.3. График для определения вида осадков по T_0 и Φ (а) и по T_0 и T_{850} (б).

долей водяного пара и сильными восходящими движениями. К таким районам относятся экваториальные и тропические, где в среднем за год выпадает свыше 1000 мм осадков, а местами до 12000 мм. Например, на о. Тринидад (11° с. ш.) средняя годовая сумма осадков составляет 1490 мм, на Сейшельских островах (5° ю. ш.) — 2400 мм.

Восходящие движения, а вместе с ними и осадки всегда усиливаются при приближении воздушной массы к горам. Так, в Богоре, в горах о. Ява, за год выпадает 4370 мм осадков (в то же время в Джакарте, расположенной на берегу моря, — всего 1800 мм), в Дебундже (у подножия вулкана Камерун) — 10 470 мм. Особенно славится обильными осадками восточная часть Индостана, где летний муссон, дующий с моря и встречающий на своем пути горы, сопровождается катастрофическими ливнями. В Черапунджи, в предгорьях Гималаев, за год выпадает 23 000 мм осадков (за одни сутки, 14 июня 1876 г., выпало 1040 мм осадков).

В умеренных широтах за год выпадает в среднем от 250 до 1000 мм, в высоких широтах — менее 250 мм. Наименьшее количе-

ство осадков (менее 250 мм в год) выпадает в субтропической области и в пустынях умеренных широт.

В Советском Союзе наибольшее количество осадков (2460 мм в год) выпадает в районе Батуми, наименьшее (100—350 мм в год) — в Средней Азии, особенно в Туркмении, где в некоторых местах осадков практически нет. В таких городах, как Москва, Ленинград, Свердловск, Новосибирск, Хабаровск, выпадает в среднем 500—600 мм осадков в год. В Приморье (Дальний Восток) летом интенсивность осадков достигает 10—12 мм/ч.

Наибольшей интенсивностью и изменчивостью во времени и пространстве отличаются ливневые осадки. Зафиксированы случаи исключительно интенсивных осадков. Так, в Калифорнии 29 ноября 1911 г. за 3 мин выпало 63 мм осадков, что соответствует интенсивности 1260 мм/ч.

Во время грозы, наблюдавшейся в Ленинградской области 19 июня 1951 г., за 4—5 ч выпало 42 мм осадков, при этом интенсивность дождя резко изменялась во времени (рис. 18.4). Количе-

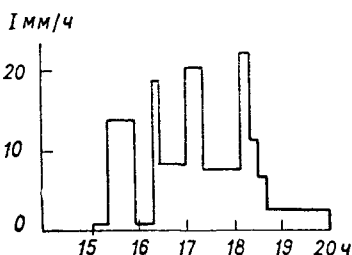


Рис. 18.4. Интенсивность дождя во время грозы в Ленинградской области.

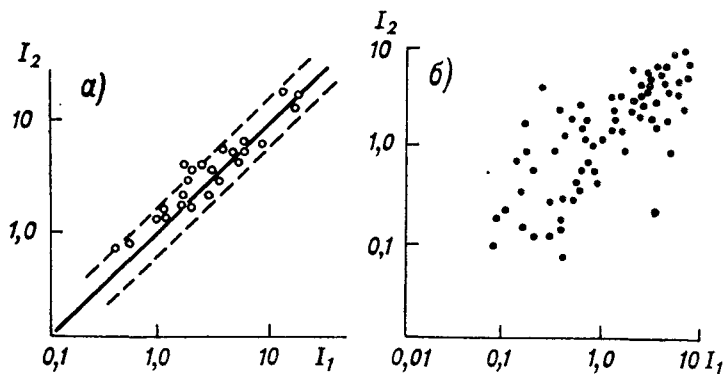


Рис. 18.5. Связь между интенсивностью осадков (мм/ч) в пунктах, удаленных на 10 м (а) и 1200 м (б).

ство осадков более 10 мм зарегистрировано на площади около 200 тыс. км²; на эту площадь выпало до 300 млн. т воды.

Данные одновременного измерения интенсивности осадков I_1 и I_2 в двух пунктах, удаленных друг от друга на расстояние 10 м, представлены на рис. 18.5 а, и на расстояние 1200 м — на рис. 18.5 б.

Рисунок 18.5 *а* дает ответ на методический вопрос о погрешности измерения осадков; рисунок 18,5 *б* показывает, что интенсивности осадков в двух точках, удаленных на сравнительно небольшое расстояние (1200 м), могут быть существенно различными (об этом говорит большой разброс точек).

Град обычно выпадает узкой полосой (ее ширина колеблется от долей до 10—15 км) в течение сравнительно небольшого промежутка времени (15—30 мин). Длина полосы градобития может достигать 800 км.

Е. К. Федоров и Е. Ф. Мамина при сравнении запаса жидкой воды в облаке в определенный момент времени и количества осадков, выпадающих из облачной системы при ее прохождении через пункт наблюдения, получили, что количество осадков, выпавших за 2—3 сут из облачной системы, превышает запас воды в системе в несколько раз. Это отношение в среднем равно 23; однако в отдельных случаях оно может колебаться от 40 до 7.

Представляет также интерес сравнение площадей, занятых облачной системой и осадками. Отношение k второй площади к первой колеблется в пределах 0,37—0,53 при среднем значении 0,46. Наибольшая повторяемость (45 %) во все сезоны года приходится на площадь осадков 0,25—0,5 млн. км². При этом с ростом площади облаков до 4—5 млн. км² увеличивается и площадь осадков; при дальнейшем увеличении площади облаков размеры площади осадков уменьшаются.

При средней по всему облаку водности, равной 1 г/м³, и вертикальной мощности кучево-дождевого облака 6000 м количество ливневых осадков, выпадающих из облака, превышает запас воды в облаке в среднем в 4,9 раза (при продолжительности осадков 60 мин). Когда интенсивность осадков превышала 1 мм/мин (в районе Киева), количество осадков было больше запаса воды в облаке в среднем в 8,8 раза при колебаниях от 1,8 до 16,9. Через каждые 7—12 мин в кучево-дождевом облаке запасы воды обновляются.

Приведенные данные указывают на то, что из облачных систем за время их существования выпадает количество осадков, примерно на порядок превышающее запас воды в фиксированный момент. Это означает, что вся масса воды в облаках обновляется много раз за время их существования.

2 Процессы укрупнения облачных элементов и образования осадков

В последние десятилетия уделяется большое внимание исследованию условий образования и укрупнения облачных элементов, с которыми тесно связан расчет интенсивности осадков. Решение