

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

этих проблем в свою очередь тесно связано с изучением движения атмосферы и поля ее температуры. Такая взаимосвязь и взаимобусловленность большого числа явлений и процессов, участвующих в образовании облачности и осадков, значительно осложняет решение проблемы их образования.

Остановимся на описании процесса роста облачных элементов и образования осадков с качественной стороны.

В *начальной стадии* развития облака, по современным представлениям, основную роль в укрупнении зародышевых облачных элементов играет процесс конденсации водяного пара. Конденсация происходит благодаря небольшому пересыщению водяного пара по отношению к поверхности облачных капель. Особенно быстро начинают расти облачные элементы после того, как в облаке наряду с переохлажденными каплями появляются кристаллы льда. При этих условиях начинается перегонка водяного пара с переохлажденных капель на кристаллы льда вследствие того, что давление насыщенного водяного пара над водой больше, чем над льдом.

Во *второй стадии*, после того как капли и кристаллы льда вырастают до $r = 20 \div 60$ мкм, преобладающую роль начинает играть процесс *слияния (коагуляции)* облачных элементов. Коагуляция облачных элементов обусловлена в основном *различной скоростью их падения (гравитационная коагуляция)*. Известную роль играет коагуляция, обусловленная турбулентным и броуновским движением, электростатическими силами и др. Благодаря коагуляции капли и кристаллы вырастают от десятков микрометров до нескольких миллиметров (снежные хлопья и градины — до нескольких сантиметров).

Капли разных размеров падают под действием силы тяжести с различной скоростью, в результате чего они соударяются друг с другом. Однако пока капли мелкие, их столкновение и слияние маловероятно. С ростом капель разность скоростей падения увеличивается, что обеспечивает все более благоприятные условия для их столкновения и слияния. Теория показывает, что скорость роста капель за счет коагуляции пропорциональна квадрату радиуса, а скорость конденсационного роста обратно пропорциональна радиусу.

Исключительно важное значение для укрупнения облачных элементов и образования осадков имеют вертикальные движения внутри облака.

Во-первых, при восходящем движении понижается температура воздуха, что определяет пересыщение водяного пара и конденсационный рост капель до размеров, при которых активную роль начинает играть слияние капель.

Во-вторых, капли, поднятые на большую высоту восходящим потоком, должны при падении пройти значительную толщу облака,

благодаря чему они вырастают до больших размеров за счет коагуляции.

С. Петтерсен обратил внимание еще на один эффект, который приводит к усилению роста капель за счет конденсации водяного пара. Это эффект разности температур облачных элементов. Такие разности температур возникают в результате того, что в облаке наблюдаются восходящие и нисходящие движения (струи). Капли,

пришедшие сверху, в среднем оказываются на данном уровне холоднее капель, пришедших на тот же уровень снизу. Эти разности температур невелики (десятые доли градуса Цельсия), но при высоких положительных температурах (в низких широтах) они могут играть заметную роль. Если две соседние капли с одинаковым радиусом имеют температуру T_1 и T_2 ($T_1 < T_2$), то давления насыщения над поверх-

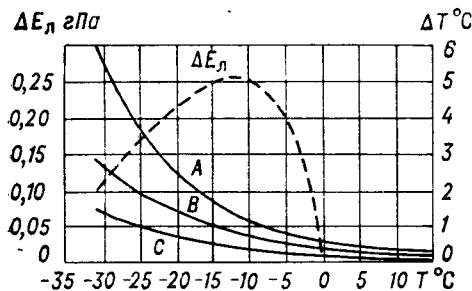


Рис. 18.6. Зависимость разностей $\Delta E_{л} = E - E_{л}$ и $\Delta T = T_2 - T_1$ от температуры.

ностью этих капель находятся в соотношении $E_1 < E_2$. Вследствие этого начнется перегонка пара с теплой капли на холодную. Обозначим разность давлений водяного пара через $\Delta E_T = E_2 - E_1$. Согласно п. 1 главы 13, при одной и той же разности $\Delta E_T = \text{const}$ разности температур $\Delta T = T_2 - T_1$ должны быть тем меньше, чем выше температура окружающего каплю воздуха.

На рис. 18.6 приведена кривая зависимости разности $\Delta E_{л} = E - E_{л}$ давлений водяного пара над водой и льдом от температуры. Эта разность принимает максимальное значение $(\Delta E_{л})_m = 0,264$ гПа при $T = -12^{\circ}\text{C}$. Кривые A, B, C выражают зависимость разности ΔT от температуры при следующем фиксированном значении разности ΔE_T : кривая A при $\Delta E_T = (\Delta E_{л})_m$, кривая B при $\Delta E_T = (\Delta E_{л})_m/2$, кривая C при $\Delta E_T = (\Delta E_{л})_m/4$.

Для того чтобы возник эффект конденсации, сравнимый с эффектом появления твердой фазы (кристаллов) в облаке, необходимо, чтобы разность ΔT была равна нескольким градусам Цельсия при низких отрицательных температурах и всего лишь долям градуса Цельсия при высоких положительных температурах. Поскольку большие разности температур в облаках не встречаются, этот эффект не играет заметной роли в умеренных и высоких широтах, где облака имеют, как правило, низкую температуру, и оказывается существенным в таких широтах, где нижняя часть облаков находится в области высоких положительных температур.