

Представление о среднем распределении водности в облачной системе теплового фронта дает рис. 17.24, построенный по данным многочисленных полетов в облаках. Даже по средним данным поле

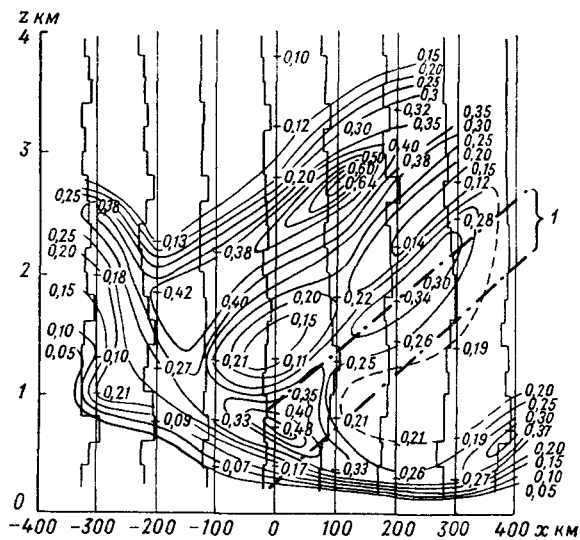


Рис. 17.24. Среднее распределение водности ( $\text{г/м}^3$ ) в облачной системе теплового фронта (1).

$x$  — горизонтальное расстояние по перпендикуляру к фронту.

водности облаков теплового фронта достаточно неоднородно: наблюдаются большие изменения водности как по горизонтали, так и по вертикали.

## 6 Основные результаты исследования облачных систем с помощью спутников

Метеорологические спутники Земли открыли уникальную возможность регулярного наблюдения за облачностью и другими атмосферными явлениями на огромных территориях. Особенно важно то, что спутники позволяют проводить наблюдения в тех районах, где наземные наблюдения отсутствуют или очень редка сеть станций. Еще и сейчас примерно  $\frac{4}{5}$  поверхности нашей планеты слабо освещены наземными наблюдениями (океаны, пустыни и горные массивы, полярные и малообжитые районы). К тому же наземные наблюдения не лишены некоторых недостатков. Они носят прерывистый (дискретный) характер как во времени, так и в пространстве. Расстояние между станциями, как правило, превышает 100—150 км, вследствие чего большие участки территории остаются не освещенными наблюдениями. Так, наземными наблю-

дениями обычно охватывается лишь 10—20 % облачного покрова. При наблюдении с земли ряд явлений малого масштаба (грозы, осадки, туманы), а также детали крупномасштабных явлений и процессов нередко полностью ускользают из поля зрения наблюдателя.

С помощью установленной на метеорологических спутниках аппаратуры в настоящее время получают информацию о количестве и форме облаков, температуре верхней границы облаков или подстилающей поверхности, о распределении снежного и ледяного покрова, о составляющих радиационного баланса системы земная поверхность—атмосфера.

Если на спутнике установлена спектральная аппаратура, позволяющая измерять потоки радиации в различных интервалах длин волн, то представляется возможным получить сведения о вертикальном распределении температуры, влажности, углекислого газа и атмосферных примесей. По косвенным признакам (расположению облачных гряд, центров вихревых облачных систем и др.) делается заключение о направлении ветра, о положении циклонов, фронтов, ложбин.

Возможность одновременного обзора (фотографирования) облачности на больших территориях со спутников позволила выявить многие ранее неизвестные особенности строения облачных систем — спиралеобразную структуру облачных образований в циклонах, системы конвективных облаков в тропической зоне, мезомасштабные облачные образования (ячейки и гряды). Анализ облачных снимков дал возможность уточнить или заново получить ряд количественных характеристик облаков, прежде всего их горизонтальные размеры.

В атмосфере наблюдаются движения различного масштаба: масштаб А — движения с характерным горизонтальным масштабом  $L$  порядка тысяч километров; масштаб В — движения с  $L$  порядка сотен километров; масштаб С — движения с  $L$  от 10 до 100 км; масштаб D — движения с  $L$  от сотен метров до нескольких километров.

Масштаб А принято называть *синоптическим*, В — *субсиноптическим*, С — *мезомасштабом*, D — *микромасштабом*.

Наиболее отчетливо масштаб движения проявляется в облачных полях соответствующего характерного размера. С движением масштаба А связано образование облачных систем ложбин, являющихся составной частью длинных волн, и циклонов; масштаба В — образование фронтальных облаков; масштаба С — мезомасштабных облаков типа ячеек и гряд; масштаба D — образование конвективных и волнистообразных облаков.

Основные сведения об облаках масштабов С и D приведены в п. 2 настоящей главы. Поэтому остановимся здесь на описании облачных систем масштабов А и В.

Уже первые фотографии облачного покрова, полученные с помощью спутников, показали, что облачные системы имеют, как правило, вихревую структуру: облачная система состоит из нескольких спиралевидных полос, сходящихся в точке вблизи центра циклона. Совместный анализ фотографий облачных полей и синоптических карт позволил установить, что вихревая структура облачности наблюдается преимущественно в циклонах (в 83 % случаев). В оставшихся 17 % случаев, хотя циклон вблизи земной поверхности и отсутствовал, отмечались высотные ложбины и циклоны, а также заполнившиеся циклоны, в которых облачный вихрь сохранялся сутки и более. Тот же анализ показал, что центры облачного вихря и приземного циклона в 82 % случаев удалены не более чем на 200 км, в 12 % случаев — на 200—400 км и в 6 % случаев — на 400—600 км.

В синоптической метеорологии весь период развития циклона принято делить на четыре стадии: начальную (или волновую), молодого циклона, максимального развития и заполнения. Каждой из этих стадий присущи некоторые особенности строения облачной системы.

В начальной стадии фронтальная облачная полоса несколько прогибается в сторону холодного воздуха. К моменту окончания стадии молодого циклона облачность у вершины волны уплотняется — начинается формирование центральной части вихря. В последующем, в стадии максимального развития, облачная полоса приобретает спиралевидный характер, при этом, чем глубже циклон и больше период его жизни, тем больше витков вокруг центра делает облачная спираль. В стадии заполнения облачность разрушается и сохраняется лишь в центральной части циклона (гряды конвективной облачности), а также на его периферии.

Анализ полей облачности, снятой со спутников, позволил обнаружить одну характерную особенность развития циклона. После исчезновения циклона как у земной поверхности, так и на высотах облачный вихрь продолжает существовать в течение 1—1,5 сут. Такой вихрь принято называть облачным следом циклона. Этот опытный факт служит косвенным подтверждением развитой в п. 3 теории, согласно которой облачность формируется за время, колеблющееся от нескольких до десятков часов. В течение такого же интервала времени существующая облачность постепенно рассеивается после того, как исчезают факторы, способствующие сохранению восходящих вертикальных движений (таким основным фактором служит циклоническое движение).

Следует обратить внимание на то, что в тыловой части циклона (за холодным фронтом) нередко образуются, особенно над водной поверхностью, вторичные облачные вихри сравнительно небольшого размера (обычно 300×500 км). В таких вихрях создаются благоприятные условия для развития конвекции — большие вертикальные градиенты температуры, увлажнение воздуха от под-

стиляющей поверхности, восходящие движения. Наблюдения показывают, что в области вторичных облачных вихрей конвекция распространяется до высоты 4—5 км, а иногда и до тропопаузы, в то время как в холодном воздухе конвекция развивается лишь в нижних 1,5—2 км.

В таком очаге интенсивной конвекции наблюдаются мощные кучевые и кучево-дождевые облака, формирующиеся в открытых ячейках диаметром 50—100 км. Отмечены случаи образования слоистообразной облачности раньше, чем возник фронт и даже циклон.

Эти примеры служат подтверждением отмеченной в п. 3 роли тепла конденсации, выделяющегося при образовании облачности, в возникновении фронта.

На фотографиях, полученных со спутников, фронты представлены полосами облачности, отходящими от центров облачных вихрей. Ширина таких полос может достигать 500—700 км, а их длина — 7000—8000 км.

Наблюдения со спутников позволили установить связь облачности со струйными течениями. Наиболее часто слоистообразная облачность (перисто-слоистая, высоко-слоистая) в виде длинных полос располагается справа от оси струйного течения (в теплом воздухе). Ширина такой полосы или лент перистой облачности наиболее часто составляет 400—600 км, а их длина — 500—1700 км. Скорость ветра в центре струи, когда наблюдается облачность, более 40 м/с. В тех случаях, когда скорость ветра на оси струи больше 100 м/с, образуется волнистообразная облачность в виде валов, расположенных под прямым углом к основной облачной полосе. Верхняя граница облаков струйных течений чаще всего совпадает с уровнем, на котором скорость ветра достигает максимума (в вертикальном направлении).

## 7 Глобальное поле облачности

К настоящему времени с помощью спутников уже получено такое количество данных об облаках, которое значительно (особенно на океанах и в малонаселенных районах суши, а также по южному полушарию в целом) превосходит число наземных наблюдений.

Поскольку расстояние до облаков при наблюдении с земной поверхности невелико, то в поле зрения наблюдателя оказываются не только нижние (по площади которых и должно определяться количество облаков  $n$ ), но и боковые поверхности облаков, особенно тех, которые находятся в нижней половине небесной сферы. В связи с этим значения  $n$ , полученные по наземным наблюдениям, как правило, завышены. Кроме того, завышение средних