

Л.Т. Матвеев

Синоптические условия образования кучевообразных облаков

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 30.05.2005 г.

По данным ежедневных метеорологических наблюдений на территории Западной Европы и Советского Союза за 1963 г. и приземным синоптическим картам (00 и 12 ч по Гринвичу) определены условия образования кучевообразных облаков в зависимости от метеорологической обстановки. Наиболее часто (в 60–70%) эти облака образуются в областях пониженного давления (циклонах и ложбинах). В большинстве случаев (от 75 до 100%) кучевообразные облака наблюдаются на расстоянии свыше 500 км от центра как циклона, так и, особенно, антициклона. Основную роль в образовании кучевых и кучево-дождевых облаков играет динамический, а не радиационно-термический фактор. В формировании полей кучевых облаков велико влияние нисходящих вертикальных движений, трансформирующих слоистообразные облака сначала в слоисто-кучевые, а затем и в кучевые.

Кучевообразные облака включают два рода (формы) облаков: кучевые (Cu) и кучево-дождевые (Cb). Принято считать, что облака эти образуются под влиянием притока солнечной радиации к земной поверхности и создаваемой им неустойчивой термической стратификации в дневную часть суток (в общем случае — при положительном балансе тепла земной поверхности). Назовем этот фактор радиационно-термическим.

Однако данные наблюдений свидетельствуют, что кучевые облака, не говоря уже о кучево-дождевых, наблюдаются не только днем, но и ночью, не только весной и летом, но осенью и зимой, в общем случае — не только при положительном, но и при отрицательном радиационном и общем балансе тепла земной поверхности.

Согласно качественно-физическому анализу [1, 2] уравнений, описывающих образование облаков, и результатам численного моделирования [3], облака Cu–Cb формируются под влиянием двух факторов: радиационно-термического и динамического. Последний практически полностью обусловлен вертикальными движениями синоптического масштаба и турбулентным обменом, наблюдаемым в синоптических вихрях (циклонах и антициклонах).

Для получения количественных оценок этих факторов по эмпирическим данным выполнен анализ наблюдений за облаками на территории Западной Европы и Советского Союза при различной синоптической обстановке (в 00 и 12 ч по Гринвичу).

Согласно табл. 1 облака Cu–Cb образуются осенью–зимой ничуть не менее часто, чем весной–летом (по данным выборки, даже более часто): 198 и 174 случая соответственно (подчеркнем: в выборку включены все сроки и сутки 1963 г.).

Если бы радиационно-термический фактор был определяющим, то следовало бы ожидать преобла-

дания кучевых облаков в антициклонах (с их безоблачной погодой и большим притоком солнечной радиации к земной поверхности).

Таблица 1

Повторяемость (%) кучевых и кучево-дождевых облаков на территории Западной Европы и Советского Союза. 1963 г. (N — объем выборки)

Сезон	Барическая система				N
	Циклон	Ложбина	Антициклон	Гребень	
Осенне-зимний	60	17	22	1	198
Весенне-летний	43	17	26	14	174

В действительности соотношение обратное: в циклонах и ложбинах кучевые облака в 3,4 раза осенью–зимой и в 1,5 раза весной–летом образуются чаще, чем в антициклонах и гребнях.

Радиационно-термический фактор может оказывать влияние только весной — летом. Динамический же фактор практически одинаков как весной — летом, так и осенью — зимой (он обусловлен вероятностью образования синоптических вихрей). Поскольку в циклоне и ложбинах весной — летом кучевых облаков образуется даже меньше, чем осенью — зимой, то отсюда следует, что в областях пониженного давления облака Cu–Cb образуются только под влиянием динамического фактора.

Несколько больше кучевых облаков наблюдается весной–летом (71 случай) по сравнению с осенью–зимой (47 случаев) в антициклонах и гребнях. Поскольку весной–летом под влиянием динамического фактора облаков образовалось столько же, сколько осенью–зимой (т.е. 47), то отсюда заключаем, что вклад радиационно-термического фактора в областях повышенного давления составляет 20%:

$$(71 - 47)/118 = 0,20.$$

Однако в формировании кучевых облаков играет роль другой, не менее важный, механизм — перенос и трансформация слоистообразных облаков. Поскольку ложбины (фронты) и циклон в целом движутся более медленно, чем воздушный поток (отстают от ведущего потока), то слоистообразные облака (Ns, As), сформировавшиеся на фронтах и в других частях циклона под влиянием восходящих движений, оказываются через некоторое время на периферии циклона, а затем и соседнего с ним антициклона, где движение воздуха нисходящее. Естественно, что под влиянием последних начинаются рассеяние (уменьшение влажности) принесенных сюда облаков и переход (трансформация) их в слоисто-кучевые (Sc) и высоко-кучевые (Ac).

Так как поля температуры, влажности и влажности, равно как и самих вертикальных движений, неоднородны, то в одних частях уменьшение влажности облака до нуля (исчезновение его) происходит быстрее, чем в соседних. Следствием этого механизма и служит образование кучевых облаков различной балльности. Таков же механизм образования просвечивающих, а также очень неоднородных, слоисто-кучевых и высоко-кучевых облаков, которые, строго говоря, следует называть уже кучевыми.

О значительной роли механизма переноса — трансформации в образовании облаков Cu—Cb свидетельствует табл. 2: лишь 24% таких облаков образуются на расстоянии до 500 км от центра циклона. Подчеркнем, что и по этим данным облака (преимущественно кучево-дождевые) формируются под влиянием динамического фактора; поскольку весной—летом (когда только и могло бы проявиться влияние термического фактора) их повторяемость точно такая же (24%), как осенью—зимой.

Таблица 2

Повторяемость (%) кучевых и кучево-дождевых облаков в Западной Европе и СССР на различных расстояниях от центра вихря. 1963 г.
(Ц — циклон, Ац — антициклон, N — объем выборок)

Сезон		Расстояние, км					N
		<100	100–200	200–500	500–1000	>1000	
Осенне-зимний	Ц	7	3	14	52	24	151
	Ац	—	—	—	40	60	47
Весенне-летний	Ц	—	7	17	30	46	103
	Ац	—	—	20	35	45	71

Основная масса кучевых облаков располагается на периферии синоптических вихрей — на расстоянии свыше 500 км от центра: в 76% случаев в циклонах, в антициклонах же в 100% случаев осенью—зимой и в 80% случаев весной—летом.

На периферии циклона все кучевые облака образуются, как и в центральной части, под влиянием

динамического фактора (весной—летом их повторяемость такая же, как осенью—зимой). Поскольку на периферии циклона преобладают нисходящие движения, то основную роль здесь играет механизм переноса — трансформации. Это утверждение тем более справедливо в отношении антициклона с его нисходящими движениями.

Увеличение кучевых облаков (весной—летом по сравнению с осенью—зимой) произошло, согласно табл. 2, на расстоянии 200–500 км от центра антициклона. На меньшем расстоянии кучевые облака не образуются как весной—летом, так и осенью—зимой. Этот факт лишний раз подчеркивает, что определяющую роль играет не радиационно-термический, а динамический фактор: в центральной части антициклона преобладает безоблачная погода, положительный радиационный и общий баланс тепла и тем не менее под влиянием нисходящих вертикальных движений кучевые облака не образуются, а принесенные сюда из соседней области циклона облака рассеиваются. Лишь на расстоянии свыше 200 км от центра антициклона, где движение воздуха также нисходящее, но по сравнению с центральной частью ослабленное, принесенные сюда облака полностью не рассеиваются, а трансформируются сначала в слоисто-кучевые, а затем в кучевые (преимущественно — в кучевые хорошей погоды или кучевые средние). Около 20% этих облаков под влиянием радиационно-термического фактора и неустойчивой стратификации в приземном слое весной—летом возникают непосредственно в самом антициклоне (на его периферии).

Общий вывод:

— облаков Cu—Cb осенью—зимой образуется ничуть не меньше (в данной выборке — даже больше), чем весной—летом;

— большая часть (60–77%) этих облаков наблюдается в циклонах и ложбинах, все облака Cu—Cb в циклонах образуются под влиянием динамического фактора;

— только в антициклонах весной—летом около 20% кучевых облаков возникает под влиянием радиационно-термического фактора;

— наблюдаются кучевые облака преимущественно на периферии синоптических вихрей.

1. *Матвеев Л.Т.* Физика атмосферы. СПб.: Гидрометиздат, 2000. С. 435–497.
2. *Матвеев Ю.Л.* О роли крупномасштабных вертикальных движений в возникновении конвективных явлений в атмосфере // Метеорол. и гидрол. 1986. № 4. С. 5–12.
3. *Матвеев Ю.Л.* Физико-статистический анализ условий образования облаков // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1994. № 3. С. 345–351.

L.T. Matveev. Synoptic conditions for formation of cumulus-like clouds.

The data of everyday meteorological observations at the territory of Western Europe and Soviet Union in 1963 and 1964 and surface synoptic maps (00 and 12 GMT) are used to determine the conditions for formation of cumulus-like clouds in different meteorological situations. Most often (in 60–70% of all cases) cumulus-like clouds are observed at a distance longer than 500 km from the center of both a cyclone and, especially, an anti-cyclone. The main role in formation of cumulus and cumulonimbus clouds is played by the dynamic, rather than the radiative-thermal, factor. The formation of fields of cumulus clouds is strongly affected by the downward vertical motions, transforming stratus clouds first into stratocumulus and then into cumulus.