

Л.Н. Карлин, Л.Т. Матвеев

**ОБ ОСНОВНЫХ ФАКТОРАХ ОБРАЗОВАНИЯ
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ**

L.N. Karlin, L.T. Matveev

**ON THE MAJOR FACTORS
OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION FORMATION**

Анализ измерений количества осадков во многих пунктах страны приводит к заключению: определяющую роль в образовании осадков, в том числе – ливневых, играет динамический фактор – вертикальные движения синоптического масштаба и увеличение их скорости с высотой, наблюдаемые в областях пониженного давления – циклонах и ложбинах. Вклад радиационно-термического фактора не превышает 20–30%. Динамический же фактор ответственен и за годовые колебания количества осадков.

Analysis of precipitation measurements at numerous locations across the country leads to a conclusion that a definite role in precipitation formation, including that of rain-storm precipitation, is played by the dynamic factor, i.e. synoptic-scale vertical motions and their increase in velocity with height observed in low-pressure areas – cyclones and troughs. The contribution of the radiation thermal factor does not exceed 20–30 %. As to the dynamic factor, it is responsible for annual variations in the amount of precipitation, too.

Практически все атмосферные осадки (дождь, снег, град и др.) формируются в слоисто-дождевых и кучево-дождевых облаках. Эти последние, в свою очередь, образуются и наблюдаются в 95–100 % случаев в областях пониженного давления – циклонах и ложбинах [Матвеев Ю.Л., 1994].

Качественно-физический анализ факторов, определяющих образование и развитие облаков [Матвеев Ю.Л., 2000], и результаты численного моделирования [Матвеев Л.Т., 1986] позволяют заключить, что в образовании осадков определяющую роль играет динамический фактор – вертикальные движения мезо- и синоптического масштаба. С другой стороны, широко распространено представление (закрепленное в учебной литературе) о важной (решающей) роли в образовании осадков (прежде всего ливневых) радиационно-термического фактора – притока солнечной радиации к земной поверхности и создаваемой им сухонестойчивой термической стратификации.

Ночью, а зимой также и днем (в общем случае – при отрицательном радиационном балансе) осадки могут образоваться только под влиянием динамического фактора, днем к нему добавляется радиационно-термический.

Основная цель статьи – количественно оценить роль факторов образования осадков путем анализа экспериментальных данных наблюдений за осадками. К дневной половине суток отнесено количество осадков, выпавших с 7 до 19 ч местного солнечного времени, к ночной – с 19 до 7 ч того же времени.

Под влиянием динамического фактора образуется одинаковое количество осадков как днем, так и ночью, поскольку формирование и движение циклонов, ложбин и фронтов, с которыми однозначно связан этот фактор, от времени суток не зависит. Разность между дневным (Q_d) и ночным (Q_n) количеством осадков, отнесенная к их сумме (Q):

$$P = \frac{Q_d - Q_n}{Q},$$

характеризует, таким образом, вклад радиационно-термического фактора в суточное количество осадков.

Сведения о Q_d и Q_n за четыре пятилетних периода (с 1975 по 1994 г.) в С.-Петербурге (СПб) и поселке Белогорка (Бел., в 80 км к югу от СПб) приведены в статье [Матвеев Ю.Л., 1998]. Определенные по этим данным все значения параметра P , согласно табл. 1, меньше 10 %.

Таблица 1

Вклад (P %) радиационно-термического фактора в формирование осадков

Период (годы)	С.-Петербург				Белогорка			
	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима
1975–79	–8,5	5,5	0,3	–0,5	–7,4	5,5	5,6	0,1
1980–84	1,6	1,8	0,3	2,0	2,6	3,8	–2,7	0,7
1985–89	2,0	6,0	3,9	–2,0	6,9	7,7	3,0	–1,7
1990–94	2,7	6,8	–3,8	–4,0	8,6	7,7	–5,8	–3,3

В 10 случаях (из 32) ночью осадков выпадает даже больше, чем днем ($P < 0$). Средние за 20 лет значения P (%):

	Весна	Лето	Осень	Зима
СПб	0,0	5,4	3,4	–3,0
Бел	1,2	6,1	1,0	1,0

Даже летом, когда условия для возникновения неустойчивой стратификации вблизи земной поверхности и проявления второго фактора наиболее благоприятны, вклад его не превышает 8 %.

В статье [Матвеев Ю.Л., 1998] содержатся сведения не только об общих (всех видов), но и отдельно – о ливневых осадках. Отношение количества ливневых осадков к общему за 20-летний период составляет:

	Весна	Лето	Осень	Зима
СПб	0,50	0,94	0,52	0,31
Бел	0,87	0,98	0,84	0,84

Поскольку доля ливневых осадков в общем их количестве и по данным работы [Довгалюк, 1991] составляет 70–80 %, то уже приведенные данные позволяют заключить, что радиационно-термический фактор вносит лишь незначи-

тельный вклад в формирование и ливневых осадков. Однако нами составлена выборка, в которую включены сведения только о ливневых осадках (табл. 2).

В Сосново (Сос.), как и в СПб и Бел., роль радиационно-термического фактора также мала – не превышает 6 % не только по количеству, но и по продолжительности осадков. Подчеркнем, что характеристики осадков сопоставимы не только за день и ночь в целом, но и за отдельные сроки наблюдений. Так, по данным за 1991–1995 гг. в Сосново летом продолжительность осадков составила 62 и 102 ч – в 00 и 12 ч; 80 и 88 ч – в 03 и 15 ч; 79 и 73 ч – в 06 и 18 ч; 67 и 82 ч – в 09 и 21 ч соответственно.

Из данных по СПб, Бел. и Сос. Следует, что в 21 из 72 случаев (29 %) параметр $P < 0$: днем выпадает осадков меньше, чем ночью. Среди значений $P > 0$ только в 4 случаях из 51 (8 %) параметр P превышает 10 %, все остальные существенно меньше 10 %.

Близкие оценки радиационно-термического фактора получены по данным для Москвы (за 1980–1984 гг.), Екатеринбурга (за 1985–1989 гг.), Челябинска (за 1980–1984 гг.), Брянска, Кемерово, Краснодара, Ростова-на-Дону и нескольких пунктов (от 2 до 15) в окрестностях этих городов.

Таблица 2

Сведения о ливневых осадках в пос. Сосново (80 км к северу от СПб) за 1991–1995 гг.

Сезон	Количество осадков, мм		P , %	Число случаев		Продолжительность, ч		P , %
	день	ночь		день	ночь	день	ночь	
Весна	381	349	4,3	168	168	416	444	-3,2
Лето	597	529	6,0	299	196	330	303	4,2
Осень	461	520	-6,0	338	287	781	814	-2,0
Зима	358	314	6,5	362	273	1037	1014	1,1

Анализ всех этих данных позволяет заключить: определяющую роль в образовании осадков играет динамический фактор – вертикальная скорость, порождаемая сходимостью воздушных потоков в синоптических вихрях – циклонах и ложбинах.

Возникновение и развитие последних – самостоятельная, большая и достаточно сложная проблема динамики атмосферы. Здесь мы лишь укажем, что из качественно-физического анализа уравнений и результатов моделирования [Глобальное поле..., 1986; Матвеев Л.Т., 1991] следует, что важную роль в образовании и эволюции вихрей играет бароклинность среды – зависимость плотности воздуха не только от давления, но и от температуры и влажности. Установлено, что под влиянием бароклинности образуется новый или усиливается циклонический вихрь в случае адвекции более холодного и/или сухого воздуха (в частности, при натекании его на теплую поверхность), антициклонический вихрь – в случае адвекции более теплого и/или влажного воздуха (в частности, при натекании его на холодную поверхность).

Хорошо известно, что температура деятельного слоя суши (материка) летом выше, а зимой ниже, чем деятельного слоя воды (океана). Вследствие этого на материках летом преобладает адвекция холода и более часто образуются циклоны, а зимой – адвекция тепла и более благоприятны условия для формирования антициклонов. На океанах соотношение обратное: летом более благоприятны условия для образования антициклонов, зимой – циклонов.

Начиная с первых исследований С. Петтерсена и Х.П. Погосяна, выполнено большое число работ по статистике синоптических вихрей. В одной из наиболее полных работ [Хайруллин, 1989] приведены сведения о синоптических вихрях, возникших за 20-летний период (1962–1981 гг.) на материках (суше) Северного полушария (севернее 20° с.ш.) За это время наблюдались 3101 циклон и 1547 антициклонов. Повторяемость (%) их в разные сезоны года составляет:

	Весна	Лето	Осень	Зима
Циклоны	31,3	50,0	12,4	6,3
Антициклоны	22,6	14,5	24,0	38,9

В согласии с указанным выше правилом, весной и летом на материках образуется свыше 80 % циклонов, а осенью и зимой формируется 63 % антициклонов. Учтем, что в данном сезоне наблюдается адвекция не только одного (летом – холода, зимой – тепла), но и противоположного знака, а также то, что бароклинность не единственный фактор образования вихрей. Тем не менее, роль бароклинности и оправдываемости сформулированного выше правила очевидны: на материках летом циклонов возникает в 3,5 раза больше, чем антициклонов, зимой же, наоборот, антициклонов – в 6,2 раза больше, чем циклонов.

Поскольку с циклонами однозначно связан главный фактор формирования осадков – восходящие вертикальные движения, то из приведенных данных следует: на материках более благоприятны условия для образования осадков летом по сравнению с зимой.

Отношение летнего количества осадков (Q) к зимнему, согласно табл. 3, во всех случаях больше единицы не только днем, но и, что особенно важно, ночью: оно заключено между 1,19 и 2,88 днем и между 1,01 и 2,36 ночью.

Таблица 3

Отношение летнего количества осадков к зимнему
(а, б, в, г – пятилетние периоды, указанные в табл. 1)

	С.-Петербург				Белогорка				Сосново
	а	б	в	г	а	б	в	г	1991–1995
День	1,46	1,19	2,58	2,01	1,49	1,54	2,58	2,11	1,67
Ночь	1,27	1,01	2,10	1,62	1,34	1,72	2,36	1,45	1,05

Такое соотношение справедливо не только для сезонных, но и для месячных значений Q . По данным для 15 пунктов Свердловской области за 1985–1989

гг. соотношение месячных Q в летние (VI, VII, VIII) и соответствующие зимние (XII, I, II) месяцы следующее:

$$VI/XII - 1,70, VII/I - 2,02, VIII/II - 3,05, \text{лето/зима} - 2,19.$$

В Челябинске отношение ночных летних Q_n к ночным же зимним Q_z в отдельные годы составило:

Годы:	1980	1981	1982	1983	1984
Q_n/Q_z	2,57	2,11	4,50	3,73	2,52

Как эти, так и приведенные в табл. 3 данные позволяют заключить: ночью, когда осадки формируются только под влиянием динамического фактора, особенно очевидна роль бароклинности среды и обусловленного ею увеличения числа циклонов летом по сравнению с зимой. Дневные осадки также образуются преимущественно под влиянием динамического фактора.

Из сравнения отношений дневных и ночных летних осадков к зимним (табл. 3) следует, что днем некоторую (до 10–15 %) роль в образовании осадков играет также радиационно-термический фактор. Подчеркнем, что именно циклоны и ложбины (с их восходящими вертикальными движениями мезо- и синоптического масштаба), а ничуть не термическая стратификация ответственны за увеличение количества осадков летом по сравнению с другими сезонами.

Литература

1. Глобальное поле облачности. Под ред. Л.Т. Матвеева. – Л.: Гидрометеиздат, 1986, с. 105–155.
2. Довгалюк Ю.А., Оренбургская Е.В., Углонова Т.Л. Характеристики ресурсных конвективных облаков. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 88 с.
3. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1991, с. 91–109.
4. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000, с. 435–450.
5. Матвеев Ю.Л. О роли крупномасштабных вертикальных движений в возникновении конвективных явлений в атмосфере. – Метеорология и гидрология, 1986, № 4, с. 5–12.
6. Матвеев Ю.Л. Физико-статистический анализ условий образования облаков. // Изв. РАН, ФАО, 1994, т. 30, № 3, с. 345–351.
7. Матвеев Ю.Л. Влияние большого города на поле осадков. // Оптика атмосферы и океана. 1998, 11, № 8, с. 839–842.
8. Хайруллин Р.Р. Структура и динамика циклогенеза в северном полушарии. – Казань: изд. Казанского ун-та, 1989. – 134 с.