

«КЛИМАТО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРЫ
ОГРАНИЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ»

УДК 551.576.2

В.С. Комаров*, Л.Т. Матвеев

Суточные и сезонные колебания осадков
и факторы их образования

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 20.06.2002 г.

Рассмотрены суточные и сезонные колебания осадков, а также проведена оценка роли динамического и радиационно-термического факторов в формировании поля осадков, для чего введен параметр p , характеризующий их долю, образовавшуюся за счет неустойчивой стратификации в приземном слое атмосферы. Эта доля чаще всего не превышает 10%. Основную роль в образовании осадков, суточных и сезонных (годовых) колебаний их количества играет динамический фактор – вихревые и вертикальные движения синоптического масштаба.

Осадки – их количество, продолжительность и колебания – важный и наиболее изменчивый элемент климата. Кроме того, осадки играют важную роль в ослаблении оптического излучения, вызывают его существенные флуктуации, а также участвуют в формировании фоновых помех [1]. Поэтому представляет большой интерес исследовать суточные и сезонные колебания количества и продолжительности осадков, а также оценить роль различных факторов в формировании поля осадков. Последнее важно потому, что в отношении осадков и прежде всего ливневых, выпадающих из кучево-дождевых облаков (*Cb*), господствует представление, согласно которому большой вклад в их образование вносит радиационно-термический фактор: приток солнечной радиации к земной поверхности и обусловленная им сухонестойчивая термическая стратификация. Однако в природе такая стратификация, согласно [2], наблюдается лишь в приземном слое (толщиной не более 200–300 м) и только днем.

В формировании как облаков *Ns* и *Cb*, так и выпадающих из них осадков основной вклад, согласно [3, 4], вносит динамический фактор – восходящие движения в циклонах и ложбинах, рост скорости их с высотой в нижней половине тропосферы и обусловленные этим понижение температуры и увеличение вертикального градиента ее в этом слое во времени.

Ночью осадки могут образоваться только за счет динамического фактора, днем к последнему добавляется радиационно-термический. Поскольку вероятность образования осадков под влиянием динамического фактора одинаковая как днем, так и ночью, то разность между дневным Q_d и ночным Q_n количествами осадков, отнесенная к их сумме $Q = Q_d + Q_n$:

$$p = (Q_d - Q_n) / Q$$

характеризует вклад второго – радиационно-термического фактора в формирование осадков.

Данные о дневном Q_d и ночном Q_n количестве осадков за четыре пятилетних периода (с 1975 по 1994 г.) в Санкт-Петербурге и Белогорке приведены в статье [5]. В табл. 1 даются значения параметра p , определенные по этим данным.

Таблица 1

Вклад (p , %) радиационно-термического фактора
в формирование осадков

Годы	Санкт-Петербург				Белогорка			
	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима
1975–1979	-8,5	5,5	0,3	-0,5	-7,4	5,5	5,6	0,1
1980–1984	1,6	1,8	0,3	2,0	2,6	3,8	-2,7	0,7
1985–1989	2,0	6,0	3,9	-2,0	6,9	7,7	3,0	-1,7
1990–1994	2,7	6,8	-3,8	-4,0	8,6	7,7	-5,8	-3,3

Из табл. 1 следует, что все значения p меньше 10%, в 10 случаях (из 32 приведенных в таблице значений) ночью осадков выпадает даже больше, чем днем ($p < 0$). Средние за 20 лет значения p (%) для каждого пункта и сезона составляют:

	весна	лето	осень	зима
Санкт-Петербург	0,0	5,4	3,4	-3,0
Белогорка	1,2	6,1	1,0	1,0

Даже летом, когда условия возникновения неустойчивой стратификации вблизи земной поверхности и проявления радиационно-термического фактора наиболее благоприятны, вклад его, как это видно из табл. 1, не превышает 8%.

Поскольку доля ливневых осадков в общем их количестве составляет 70–80% [6], то уже приведенные данные позволяют заключить, что радиационно-термический фактор вносит лишь незначительный (менее 10%) вклад в формирование ливневых осадков. Для подтверждения этого вывода нами составлена выборка, в которую включены сведения только

о ливневых осадках, выпавших в районе Сосново (табл. 2).

Таблица 2

Сведения о ливневых осадках в Сосново за 1991–1995 гг.

Сезон	Количество осадков, мм		r, %	Число случаев		Продолжительность, ч		r, %
	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

В Сосново, как в Санкт-Петербурге и Белогорке, роль радиационно-термического фактора также незначительна – 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 сроки 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 приведенных выше оценок параметра r, рассчитанного для количества осадков (см. табл. 1 и 2), также следует, что в 11 из 36 случаев (30%) параметр $r < 0$: т.е. днем выпадает осадков меньше, чем ночью. Среди значений $r > 0$ только в 3 случаях из 36 (8%) параметр r превышает 7%, все остальные существенно меньше 7%.

Близкие оценки роли радиационно-термического фактора получены также по данным для Екатеринбургa, Челябинска, Брянска, Кемеровa, Краснодара, Ростова-на-Дону и нескольких пунктов (от 2 до 15) в окрестностях этих городов.

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 очень сложная проблема динамики атмосферы. Здесь мы лишь укажем, что из качественно-физического анализа уравнений и результатов моделирования [7, 8] следует, что важную роль в образовании и эволюции вихрей играет бароклинность среды – зависимость плотности воздуха не только от давления, но и температуры и влажности. Установлено, что под влиянием бароклинности образуется новый или усиливается циклонический вихрь в случае адвекции более холодного воздуха (в частности, при натекании его на теплую поверхность), антициклонический вихрь – в случае адвекции более теплого 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. Погосьяна, выполнено большое число работ по статистике синоптических вихрей. В одной из наиболее полных работ [9] приведены сведения о синоптических вихрях, возникших за 20-летний период (1962–1981 гг.) на суше Северного полушария (севернее 20° с.ш.). За это время наблюдались 3101 циклон и 1547 антициклонов. Повторяемость их (%) в различные 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, под влиянием преобладания адвекции холода над теплой сушей, на материках образуется свыше 80% циклонов, а осенью и зимой, за счет преобладания адвекции тепла, 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 действие основного правила очевидны: на материках летом циклонов возникает в 3,5 раза больше, чем антициклонов, зимой же, наоборот, антициклонов – в 6 раз больше, чем циклонов.

Поскольку с циклонами однозначно связан главный фактор формирования осадков – восходящие вертикальные движения, то из приведенных данных следует: на материках летом более благоприятны условия для образования осадков, чем зимой. Подчеркнем, что именно циклоны, а ничуть не термическая стратификация (на которую обычно ссылаются), ответственны за увеличение количества осадков летом по сравнению с другими сезонами.

Отношение летнего количества осадков Q к зимнему, согласно табл. 3, во всех случаях больше единицы: 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)

Время суток	Санкт-Петербург				Белогорка				Сосново 1991–1995 гг.
	а	б	в	г	а	б	в	г	
День	1,46	1,19	2,58	2,01	1,49	1,54	2,88	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 месячных значений Q. По данным для 15 пунктов Свердловской области за 1985–1989 гг. отношение месячных Q в летние (VI, VII, VIII) и соответствующие зимние (XII, I, II) месяцы сле-

дующее: VI/XII – 1,70; VII/I – 2,02; VIII/II – 3,05; лето/зима – 2,19.

В Челябинске отношение ночных летних $Q_{\text{л}}$ к ночным же зимним $Q_{\text{з}}$ составило в 1980 г. – 2,57; 1981 – 2,11; 1982 – 4,50; 1983 – 3,73; 1984 – 2,52.

Наряду с качественно-физическим толкованием оценена статистическая связь количества осадков Q с давлением p и температурой T воздуха, а также с давлением водяного пара e . Оказалось, что наиболее тесная связь отмечается между осредненными за 10 сут значениями Q и p , равно как между Q и T , Q и e . Объяснить это, возможно, следует тем, что к этому интервалу наиболее близок естественный синоптический период, в течение которого сохраняются знак барического поля и характер погоды.

В табл. 4 приведены коэффициенты корреляции между декадными значениями количества осадков Q и других метеовеличин (давления, температуры и давления водяного пара), рассчитанные для дня и ночи и в целом за сутки по данным Сосново за период 1991–1995 гг.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между декадными значениями количества осадков и других метеовеличин. Сосново (д – день, н – ночь, с – сутки)

Сезон	r_{Qp}			r_{QT}			r_{Qe}		
	д	н	с	д	н	с	д	н	с
Весна	-0,39	-0,40	-0,48	0,07	-0,14	-0,07	0,12	-0,06	0,00
Лето	-0,29	-0,43	-0,47	-0,19	-0,26	-0,21	0,20	-0,07	0,14
Осень	-0,40	-0,39	-0,47	0,08	0,29	0,22	0,09	0,34	0,26
Зима	-0,62	-0,49	-0,64	0,09	0,04	0,07	0,15	0,09	0,14
Год	-0,35	-0,35	-0,44	0,15	0,03	0,10	0,23	0,07	0,18

Как и следовало ожидать, наиболее тесная корреляционная связь, согласно табл.4, получена между Q и p : коэффициенты корреляции r_{Qp} заключены между – 0,29 и – 0,64, т.е. все r_{Qp} имеют отрицательные значения. Это значит, что уменьшение давления (при появлении или углублении циклона) чаще всего сопровождается увеличением Q . Коэффициенты r_{Qp} статистически значимы: средние квадратические отклонения σ_r не менее чем в 10 раз меньше модуля r .

По поводу корреляции между Q и температурой, которой только и уделялось внимание, выскажем следующее. Прежде всего, связь между Q и T значительно слабее, чем между Q и p : коэффициенты r_{QT} в 2–7 раз меньше (по модулю) r_{Qp} , причем большинство (9 из 15) r_{QT} статистически незначимы. Кроме того, коэффициенты r_{QT} меняют в течение года знак: они имеют положительные значения осенью и зимой и отрицательные весной и летом. Это свидетельствует не о влиянии температуры на осадки, а лишь об обратном влиянии облаков на температуру: осенью и зимой приход циклона сопровождается увеличением осадков и температуры (поскольку уменьшается эффективность излучения земной поверхности); весной и летом соотношение между изменениями Q и T при появлении циклона – противоположное и $r_{QT} < 0$.

Отметим, что в работе [10] по месячным значениям количества осадков Q и температуры T получены также достаточно малые величины коэффициентов корреляции r_{QT} : они только на юго-востоке европейской части России достигают 0,2–0,3, на всей остальной части СССР – меньше 0,1 (по модулю) или статистически незначимы.

Столь же слабая связь осадков с давлением водяного пара: 9 (из 15, приведенных в табл. 4) значений r_{Qe} статистически незначимы. В связи с этим становится понятно, почему не привели к положительным результатам неоднократно предпринимавшиеся попытки увязать осадки с переносом водяного пара (в частности, с Атлантического океана на территорию России), выделить вклад в осадки местного и внешнего водяного пара. Самого водяного пара всюду (кроме пустынь и полупустынь) вполне достаточно для образования любых осадков. Дело лишь в механизме (процессе), способном преобразовать водяной пар в жидкое состояние (осадки). Таким механизмом служит циклон, выступающий в роли самовозбуждающейся системы: после возникновения циклон вовлекает в себя воздушные массы и водяной пар с расстояний, в несколько раз превышающих его радиус, и кроме того он вовлекает также водяной пар с водной и увлажненной земной поверхности. Последующий перенос водяного пара по вертикали и смешение вовлекаемого воздуха с воздухом циклона приводят к образованию облаков и осадков, а перенос (адвекция) более холодного воздуха, распространяющегося на все большую часть циклона, способствует самовозбуждению (регенерации) циклона.

По осредненным за сутки данным за 1994–1999 гг. коэффициенты r_{Qp} для всех 14 станций бывшего Советского Союза (от Вильнюса до Владивостока) также имеют отрицательные значения. Однако они несколько меньше (по модулю) приведенных в табл. 4 значений, определенных по декадным данным. Для суточных Q и p коэффициенты r_{Qp} заключены между –0,11 (Санкт-Петербург) и –0,40 (Ростов), восемь (из 14) значений r_{Qp} больше 0,20 (по модулю).

Для этой же выборки определены коэффициенты корреляции между Q и изменением (Δp) давления за сутки. Все они также меньше нуля, при этом четыре значения больше 0,20 (по модулю), четыре статистически незначимы.

Связь Q с температурой и ее изменением во времени по суточным данным, так же как и по декадным, значительно слабее связи между Q и p : от 30 до 65% значений r_{QT} и $r_{Q\Delta T}$ статистически незначимы.

Полученные результаты позволяют заключить: определяющую роль в формировании полей осадков, в суточных и сезонных колебаниях их количества играют динамические факторы – вихревые и вертикальные движения синоптического масштаба, на возникновение и развитие которых, в свою очередь, существенное влияние оказывает бароклинность среды.

1. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Задде Г.О. Оптическая погода. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение. 1990. 191 с.
2. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 777 с.
3. Матвеев Л.Т. Динамика облаков. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 311 с.
4. Матвеев Ю.Л. О роли крупномасштабных вертикальных движений в возникновении конвективных явлений в атмосфере // Метеорол. и гидрол. 1986. № 4. С. 5–12.
5. Матвеев Ю.Л. Влияние большого города на поле осадков // Оптика атмосф. и океана. 1998. Т. 11. № 8. С. 839–842.
6. Довгалюк Ю.А., Оренбургская Е.В., Углонова Т.Л. Характеристики ресурсных конвективных облаков. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 88 с.
7. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата земли. Л.: Гидрометеоздат, 1991. С. 91–109.
8. Матвеев Ю.Л. Глобальное поле облачности. Л.: Гидрометеоздат, 1986. С. 105–155.
9. Хайруллин Р.Р. Структура и динамика циклогенеза в северном полушарии. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1989. 134 с.
10. Дроздов О.А., Григорьева А.С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1971. 158 с.

V.S. Komarov, L.T. Matveev. **Diurnal and seasonal variations of precipitation and precipitation formation factors.**

Diurnal and seasonal variations of precipitation are considered, and the role of the dynamic and radiative-thermal factors in formation of the precipitation field is assessed using the parameter P characterizing the fraction formed due to unstable stratification in the surface atmospheric layer. This fraction most often did not exceed 10%. The main role in formation of precipitation and diurnal and seasonal variations of precipitation amount is played by the dynamic factor, namely, vortical and vertical motions of synoptic scale.