

Л.Т. Матвеев

## Статистические связи осадков с давлением и температурой воздуха

Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 30.05.2005 г.

По данным ежедневных наблюдений на всех метеостанциях европейской части России за 1981–1990 гг. установлены корреляционные связи между средними суточными и декадными значениями давления воздуха и количеством осадков. Аналогичные связи оценены между количеством осадков и температурой воздуха. Коэффициенты корреляции для декадных значений существенно (до 1,5–2 раз) больше (по модулю), чем для суточных.

Атмосферные осадки относятся к числу явлений, которые оказывают значительное влияние на хозяйственную деятельность человека. Они — важная составная часть общих понятий погоды и климата.

В статье [1] показано, что основную роль в образовании слоисто-дождевых и кучево-дождевых облаков, а вместе с ними обложных и ливневых осадков играют динамические факторы: вертикальные движения синоптического и среднего (мезо) масштабов, адвективные и турбулентные притоки тепла и водяного пара. Эти факторы, в свою очередь, тесно связаны с полем давления воздуха.

### 1. Осадки и давление воздуха

Цель данной статьи заключается в оценке влияния давления воздуха на количество осадков. Одним из наиболее надежных показателей статистической связи между полями случайных величин служит коэффициент корреляции  $r$ .

По данным метеорологических наблюдений за 1981–1990 гг. выполнен расчет  $r$  между средними месячными значениями количества осадков  $Q$  и давления воздуха  $p$ .

На основе моделирования [2, 3] основных форм облаков (слоисто-дождевых и кучево-дождевых), из которых выпадают осадки, а также повседневных наблюдений можно предположить, что корреляционная связь между  $Q$  и  $p$  будет отрицательной: более низким значениям  $p$  (циклон, ложбина) соответствуют более высокие значения количества осадков. Данные табл. 1 согласуются с этим предсказанием: все значения  $r$  меньше нуля ( $r < 0$ ).

Связь между  $Q$  и  $p$  — статистически значимая, поскольку, согласно известной формуле ( $\sigma_r = (1 - r^2) / \sqrt{N}$ ), квадратические отклонения  $\sigma_r$  коэффициента корреляции, как правило, значительно меньше самого  $r$  (по модулю):  $\sigma_r < |r|$ .

Существенного различия между зимними и летними  $r$  не отмечается. Из этого следует, что в осно-

ве формирования облаков и осадков лежит динамический фактор (поскольку при существенном вкладе радиационно-термического фактора связь между  $Q$  и  $p$  летом была бы более тесной, чем зимой).

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между средними месячными значениями количества осадков и давления воздуха ( $Q$  и  $p$ ). 1981–1990 гг. ( $N$  — объем выборки)

Станция	Зима	Лето	$N$
Москва (ВДНХ)	–0,33	–0,25	60
Москва (МГУ)	–0,59	–0,56	60
Наро-Фоминск	–0,45	–0,68	58
Можайск	–0,72	–0,33	60
Волоколамск	–0,25	–0,34	30
Челябинск	–0,51	–0,44	60

Отметим, что расчет  $r$  выполнен не только по среднесуточным  $Q$  и  $p$ , но и отдельно по дневным (от 8 до 20 ч местного времени) и ночным значениям этих величин. Значения  $r$  за день и ночь оказались близкими.

Известно [4], что на суше переход от зимы к лету сопровождается увеличением количества осадков (до 2–3 раз) и понижением давления (на несколько десятков гектопаскалей). Расчет коэффициентов корреляции между изменениями (от лета к зиме) количества осадков ( $\Delta Q = Q_{\text{л}} - Q_{\text{з}}$ ) и давления воздуха ( $\Delta p = p_{\text{л}} - p_{\text{з}}$ ) показал, что связь между  $\Delta Q$  и  $\Delta p$  также отрицательная ( $r < 0$ ), однако значительно менее тесная, чем между  $Q$  и  $p$ . Так, по данным для ст. Екатеринбург, Липовское и Богдановское коэффициенты корреляции между средними месячными  $\Delta Q$  и  $\Delta p$  (за 1981–1990 гг.) составили соответственно: –0,12, –0,17 и –0,30.

Корреляционные связи между  $Q$  и  $p$  получены также для значительно большего объема выборок на европейской части России (ЕЧР) (см. далее табл. 3).

По наблюдениям за 1981–1990 гг. на европейской части России коэффициенты корреляции меж-

ду  $Q$  и  $p$  по суточным и осредненным за декаду данным соответственно равны:  $-0,27$  и  $-0,40$ .

Чтобы оценить влияние термических условий, коэффициенты корреляции между  $Q$  и  $p$  рассчитаны также для станций, расположенных на европейской части России севернее  $60^\circ$  с.ш. Для суточных и декадных значений они составили:  $-0,27$  и  $-0,38$ .

Расположение станций практически не оказывает влияния на корреляционные связи, что лишь раз подчеркивает определяющую роль динамического фактора в образовании осадков (при значительной роли термического фактора связи между  $Q$  и  $p$ , равно как между  $Q$  и  $T$ , были бы существенно различны для северных и южных станций).

Осреднение за декаду предпринято для того, чтобы приблизить этот интервал к естественному синоптическому периоду (5–14 сут), в течение которого преобладает облачная (дождливая) или ясная погода.

Осреднение за декаду существенно (до 1,5 раза) увеличило связь между  $Q$  и  $p$ .

## 2. Осадки и температура воздуха

Наряду со связью между  $Q$  и  $p$  выполнен анализ корреляционных связей между количеством осадков и температурой воздуха.

Согласно табл. 2 все коэффициенты корреляции между  $Q$  и  $T$  больше нуля: увеличение температуры сопровождается ростом количества осадков. Конечно, некоторую роль в усилении этой связи мог сыграть радиационно-термический фактор. Однако вклад его, как показано в [1], не превышает 10%, к тому же только летом (когда возможна неустойчивая термическая стратификация в приземном слое).

Таблица 2

**Коэффициенты корреляции между средними месячными значениями количества осадков и температуры ( $Q$  и  $T$ ). 1981–1990 гг. ( $N$  – объем выборки)**

Станция	Зима	Лето	$N$
Москва (МГУ)	0,29	0,20	60
Москва (Лосиноостровская)	0,70	0,30	56
Можайск	0,35	0,67	58
Павловский Посад	0,10	0,20	60
Дмитров	0,35	0,67	60
Екатеринбург	0,25	0,13	60

Поскольку, согласно табл. 2, коэффициенты корреляции только в половине пунктов летом больше, чем зимой, то приходим к заключению, что термический фактор в данном случае не оказал влияния даже на уровне 10%.

Основную роль в установлении связи между  $Q$  и  $T$  играет все тот же динамический фактор. Он выступает в опосредованном виде: более высокая температура в пункте наблюдения способствует усилению адвекции холода и, как следствие, возникновению циклонического вихря и восходящих вертикальных движений. Под влиянием последних

температура воздуха на всех фиксированных уровнях, кроме земной поверхности, понижается, а ее вертикальный градиент увеличивается во времени [3, 5]. Если выше уровня конденсации термическая стратификация сохраняется влажнонеустойчивой, то формируются слоисто-дождевое облако и обложные осадки. В том и другом случае при более высокой температуре вблизи земной поверхности повышается вероятность выпадения осадков и увеличения их количества.

По наблюдениям на всех станциях европейской части России за 1981–1990 гг. коэффициенты корреляции между  $Q$  и  $T$  составили 0,13 и 0,29 по средним суточным и декадным значениям соответственно.

По наблюдениям на северных станциях (расположенных на широте свыше  $60^\circ$ ) коэффициенты корреляции по средним суточным и средним декадным значениям  $Q$  и  $T$  соответственно равны 0,14 и 0,29.

Как и в случае связи между  $Q$  и  $p$ , положение станций (фон температуры и термическая стратификация) не оказали влияния на корреляционную связь количества осадков с температурой воздуха.

Декадное осреднение (приближающее период осреднения к естественному синоптическому периоду) существенно (для данных выборок – в 2 раза) увеличило тесноту связи между полями осадков и температуры воздуха.

Статистические связи между  $Q$  и  $p$  существенно теснее связей между  $Q$  и  $T$ : коэффициенты корреляции для первой пары величин по суточным данным в 2 раза, а по декадным примерно в 1,5 раза больше (по модулю), чем для второй пары. Более того, по некоторым выборкам при достаточно тесной связи между  $Q$  и  $p$  (декадные значения коэффициентов  $r$  колеблются между  $-0,44$  и  $-0,04$ ) связь между  $Q$  и  $T$  очень слабая: декадные значения  $r$  не превышают 0,22, а весной и летом они даже меньше нуля [4].

Следует подчеркнуть, что представленные в табл. 3 значения  $r$  особенно статистически значимы, поскольку оценены они по выборкам, включающим десятки тысяч наблюдений.

Таблица 3

**Коэффициенты корреляции между средними суточными (сут) и декадными (дек.) значениями количества осадков и давления ( $Q$  и  $p$ ), количества осадков и температуры ( $Q$  и  $T$ ). 1981–1990 гг.**

Область наблюдений	$Q$ и $p$		$Q$ и $T$	
	Сут	Дек.	Сут	Дек.
ЕЧР	$-0,27$	$-0,40$	0,13	0,29
Север ЕЧР	$-0,27$	$-0,38$	0,14	0,29

Значительно усиливается связь  $Q$  как с  $p$ , так и с  $T$  при переходе от суточных к декадным значениям метеовеличин. Хотя коэффициенты корреляции, рассчитанные по суточным и декадным (табл. 3) и месячным (см. табл. 1 и 2) значениям величин, статистически значимы, практически все они меньше (по модулю) 0,40–0,50. Объяснить это

можно тем, что выборки включают дни как с осадками, так и без них.

Естественно, что включение дней без осадков уменьшило вероятность зависимости количества осадков от давления, равно как и от температуры.

Играет роль также то, что однозначной связи давления с вертикальными движениями — главного фактора формирования осадков — не наблюдается: при одном и том же давлении вертикальная скорость может быть существенно различной.

1. *Матвеев Л.Т., Матвеев Ю.Л.* Роль различных факторов в образовании, суточных и годовых колебаниях

осадков // Изв. РАН. Сер. геогр. 2003. № 1. С. 53–62.

2. *Матвеев Л.Т.* Динамика облаков. Л.: Гидрометеониздат, 1981. 311 с.
3. *Матвеев Ю.Л.* О роли крупномасштабных вертикальных движений в возникновении конвективных явлений в атмосфере // Метеорол. и гидрол. 1986. № 4. С. 5–12.
4. *Матвеев Л.Т., Матвеев Ю.Л., Переведенцев Ю.П., Тудрий В.Д.* Основы экологии атмосферы. Часть 3. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2002. 125 с.
5. *Матвеев Ю.Л., Матвеев Л.Т.* Поля температуры, влажности и облачности в тропическом циклоне // Докл. РАН. 2000. Т. 374. № 5. С. 688–691.

*L.T. Matveev. Statistical correlations of precipitation with air pressure and temperature.*

The data of everyday observations at all weather stations in the European part of Russia for 1981–1990 have been used to establish the correlations between the average diurnal and decadal values of the air pressure and the precipitation amount. The analogical correlations have been also estimated between the precipitation amount and the air temperature. The correlation coefficients for the decadal averages are significantly (up to 1.5–2 times) higher (in the absolute values) than those for the diurnal averages.