

УДК 551.58:551.509.314

Исследование влияния рельефа Пермского края на распределение полей осадков

Н.А. Калинин, Л.В. Фрик, А.А. Смирнова
Пермский государственный университет

Осадки представляют собой одно из самых изменчивых во времени и пространстве метеорологических явлений. На характер их распределения оказывают влияние высота местности, изрезанность рельефа, вид подстилающей поверхности, тип растительного покрова, при этом наиболее значительное – рельеф. Горы усиливают восходящие движения воздуха, активизируют атмосферные фронты и циклоны, поэтому осадков в горах выпадает существенно больше, чем на окружающих их равнинных территориях. Так, в горной местности происходит наложение на горизонтальное распределение осадков по территории (определяемое общим фоном климатического режима, широтной и меридиональной протяженностью) вертикального распределения (определяемого высотой места и орографическими особенностями) [1, 3].

В умеренных широтах на распределение осадков даже на равнинной местности могут влиять элементы рельефа с относительными высотами более 50 м [6–8]. Основное влияние возвышенностей на осадки заключается в том, что на наветренной стороне возвышенностей и гор за счет вынужденного подъема воздуха по склонам возникают орографические вертикальные движения, увеличивающие облачность и количество осадков, а на подветренной – нисходящие движения, способствующие размыванию облачности и уменьшению количества выпадающих осадков.

Уральские горы, образующие огромный по протяженности барьер на пути движения западных воздушных потоков, затрудняют их переваливание, что вызывает резкое увеличение количества осадков, выпадающих на западных наветренных склонах, по сравнению с восточными подветренными. Увеличение сумм осадков начинается тем раньше и происходит тем значительнее, чем больше высота горного препятствия. Влияние Уральских гор проявляется уже на расстоянии 100 км от подножия склона [8, 2]. Сочетание крупномасштабных неоднородностей рельефа с мезомасштабными на территории Пермского края создаёт сложное распределение осадков. При этом важнейшие закономерности, характерные для большей части территории России, – уменьшение количества осадков с запада на восток и с севера на юг – сохраняются.

Цель данной статьи заключается в определении тесноты связи между количеством выпадающих осадков и рельефом местности в Пермском крае. Территория исследования представляет собой прямоугольный полигон с координатами 61°49' и 56°26' с.ш., 52°20' и 59°40' в.д. Исходными данными

для исследования послужила информация о среднемесечном количестве осадков на 77 метеостанциях и постах Пермского края за 1991-1996 гг., 2000 и 2001 гг., приведенная в метеорологических ежемесячниках [5] и цифровая модель рельефа. Обработка информации производилась в пакетах ArcGIS 8.3 и Microsoft Excel. Значения количеств осадков и высоты над уровнем моря были проинтерполированы в узлы регулярной сетки 5×5 км (14824 узла). Теснота связи между рельефом и количеством осадков оценивалась с помощью линейного коэффициента корреляции (r) [4, 9].

Среднемесечные значения коэффициента корреляции между рельефом и осадками и его средние за все годы значения по месяцам представлены в табл. 1. Розовым цветом выделены положительные значения r выше уровня значимости, оранжевым — отрицательные r выше уровня значимости.

Таблица 1

Среднемесечные значения линейного коэффициента корреляции (r) между рельефом и осадками

Период осреднения	1991	1992	1993	1994	1995	1996	2000	2001	Среднее
Январь	0,48	0,58	0,49	0,23	0,22	0,49	0,60	0,41	0,60
Февраль	0,30	0,56	0,39	0,31	0,70	0,57	0,25	0,19	0,63
Март	0,19	0,46	0,09	0,16	0,45	-0,05	0,55	0,27	0,41
Апрель	0,27	0,48	0,02	0,57	0,37	0,56	-0,20	0,35	0,47
Май	-0,34	-0,17	0,09	-0,01	0,13	0,64	0,39	0,27	0,06
Июнь	0,45	0,44	0,05	0,26	0,20	0,07	-0,50	0,42	0,28
Июль	0,62	0,53	0,09	-0,50	0,17	0,25	0,59	0,39	0,53
Август	0,09	0,35	0,55	0,04	0,49	0,26	0,61	0,11	0,49
Сентябрь	0,67	0,01	0,35	0,18	0,12	0,28	0,09	0,15	0,42
Октябрь	-0,07	0,41	0,55	0,59	0,56	-0,01	-0,01	0,08	0,54
Ноябрь	-	-0,14	0,57	0,51	0,31	-0,01	0,20	0,72	0,47
Декабрь	0,07	0,44	0,20	0,25	0,46	0,33	0,26	0,08	0,41

Значения коэффициента корреляции между рельефом местности и количеством выпавших осадков изменяются от -0,5 до 0,72. В целом значения r положительны и превышают уровень значимости, что говорит о существовании тесной прямой связи между рельефом и осадками. Значения r ниже уровня значимости как положительные, так и отрицательные свидетельствуют не об отсутствии связи, а о наличии нелинейной связи между рельефом и осадками.

Распределение r по месяцам изменяется год от году. Это связано с особенностями синоптических процессов в тот или иной месяц и год в целом. Осреднение среднемесечных значений r по годам показывает, что наибольшие значения r наблюдаются в октябре, ноябре, январе, феврале, наименьшие — в мае, июне. При этом минимальные значения осредненных по годам среднемесечных r связаны с вкладом близких к нулю значений r в

отдельные годы, что свидетельствует не столько об уменьшении тесноты связи, сколько об ее усложнении, нелинейности.

Наглядным примером сложной нелинейной связи является май с минимальным средним за весь период значением r и с небольшими, близкими к нулю или отрицательными значениями r в отдельные годы. На территории Прикамья май – типичный переходный месяц, он отличается нестабильностью макромасштабных синоптических процессов, проявляющейся в изменчивости погоды (например, характерный для мая «возврат холодов»), нарушением западного переноса воздушных масс с Атлантики, вторжением арктических воздушных масс. Изменение направления влагонесущего потока изменяет вклад орографии в процесс осадкообразования. Все это обуславливает сложную нелинейную связь между рельефом и количеством осадков.

На рис. 1 показан годовой ход среднемесячных значений линейного коэффициента корреляции между рельефом и осадками. Видно, что во все месяцы, кроме мая, r превышает уровень значимости. На графике годового хода r максимумы отмечаются зимой и осенью, минимум значений r – весной.

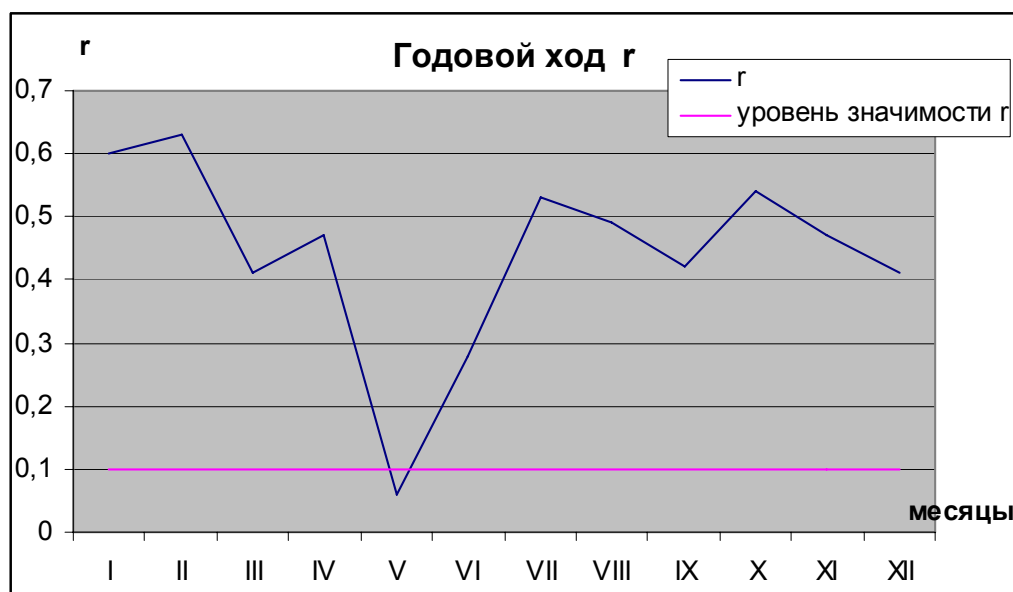


Рис. 1. Годовой ход среднемесячного коэффициента корреляции

В табл. 2 представлены среднесезонные значения линейного коэффициента корреляции между рельефом и осадками и его средние за все годы значения по сезонам.

Таблица 2

**Среднесезонные значения линейного коэффициента корреляции (r)
между рельефом и осадками**

Период осреднения	1991	1992	1993	1994	1995	1996	2000	2001	Среднее
Зима	0,25	0,68	0,55	0,26	0,73	0,56	0,64	0,44	0,55
Весна	-0,15	0,41	0,13	0,20	0,60	0,14	0,33	0,06	0,25
Лето	0,23	0,44	0,35	-0,01	0,46	0,13	-0,01	0,35	0,43
Осень	0,42	0,30	0,56	0,60	0,57	0,26	0,29	0,37	0,57

В целом сезонное распределение r аналогично среднемесячным значениям. Практически все значения r значимы, кроме двух летних случаев, когда связь между рельефом и осадками была, скорее всего, нелинейной. Большая часть значимых r показывает сильную положительную связь. Наиболее устойчивая положительная связь r наблюдается зимой и осенью. Летом значения r также устойчивы и достаточно большие, уменьшение осредненного по всем годам значения r летом ($r = 0,43$) связано с вкладом двух случаев нелинейной связи. Наибольший разброс значений r наблюдается весной, когда есть и сильная положительная, и значимая отрицательная, и нелинейная связь, поэтому при осреднении по годам значение r весной минимально.

В табл. 3 представлены средние для полугодий значения линейного коэффициента корреляции между рельефом и осадками и его средние за все годы значения по полугодиям.

При осреднении по полугодиям все значения коэффициента r положительные, при этом они существенно выше уровня значимости, т. е. и в теплое, и в холодное полугодия во все годы наблюдалась сильная положительная связь между рельефом и количеством выпадающих осадков. Осреднение r за все годы выявило, что значение коэффициента корреляции в теплый период несколько меньше, чем в холодный (0,43 и 0,53 соответственно). Это связано с большим разбросом значений r в месяцы теплого полугодия, а также с тем, что в теплое полугодие входят апрель и май — месяцы с наиболее сложной нелинейной связью осадков с рельефом.

Таблица 3

Средние для полугодий значения линейного коэффициента корреляции (r) между рельефом и количеством осадков

Период осреднения	1991	1992	1993	1994	1995	1996	2000	2001	Среднее
Теплый	0,51	0,61	0,40	0,13	0,44	0,20	0,55	0,31	0,43
Холодный	0,18	0,51	0,60	0,57	0,68	0,39	0,54	0,61	0,53

Примечание: холодный период — с октября по март, теплый период — с апреля по сентябрь.

В табл. 4 представлены среднегодовые значения линейного коэффициента корреляции рельеф–осадки и его среднее значение за все годы. Следует отметить, что поля среднегодовых осадков строились путем

интерполяции исходных среднегодовых значений, а не путем осреднения полученных на предыдущих этапах полей месячных осадков.

Таблица 4

**Среднегодовые значения линейного коэффициента корреляции (r)
между рельефом и количеством осадков**

Период осреднения	1991	1992	1993	1994	1995	1996	2000	2001	Среднее
Год	0,44	0,44	0,45	0,41	0,65	0,24	0,64	0,52	0,49

Результаты, приведенные в табл. 4, показывают, что связь между рельефом и осадками, кроме того, что является положительной и весьма сильной, становится устойчивой, т. е. мало изменяющейся год от года. Среднее за весь исследуемый период значение коэффициента корреляции составило 0,49.

Распределение r по месяцам, сезонам, полугодиям и в отдельные годы, несмотря на свою сложность и неоднозначность, подтверждает наличие тесной прямой связи между рельефом и суммами осадков. Среднемесячные значения r в отдельных случаях остаются небольшими отрицательными или близкими к нулю, что указывает скорее на нелинейность связи, чем на ее отсутствие. При осреднении за все включённые в исследование годы среднемесячных, среднесезонных, среднегодовых и средних для полугодий значений r отрицательная и незначимая связи исчезают; средние за весь период r для всех периодов говорят о наличии тесной прямой связи между рельефом и осадками. Таким образом, несмотря на небольшую изменчивость в течение года и несколько большую изменчивость год от года связи осадков с рельефом, можно сделать вывод о постоянном существовании достаточно тесной (существенно выше уровня значимости r) прямой связи между ними.

Сложное пространственно-временное распределение коэффициента корреляции между рельефом и количеством выпавших осадков складывается под комплексным воздействием таких факторов, как высота места, изрезанность рельефа, направленность возвышенностей, характер атмосферной циркуляции, время года. Конкретные синоптические ситуации в определенные время года создают разные условия для проявления общеизвестного орографического эффекта увеличения осадков на наветренных сторонах горных препятствий.

В осенне-зимний период года (холодное полугодие), характеризующийся усиленной циклонической деятельностью и более низким уровнем конденсации, роль рельефа выражена чётче, особенно на наветренных склонах [1].

С этим фактом связаны устойчивые, достаточно высокие значения r зимой и в холодный период. На ЕТР зимой осадки в основном образуются на окклюдированных фронтах, т.е. после того, как атлантический воздух будет отрезан от земли холодным континентальным [6]. Поэтому распределение осадков по территории зависит от общего направления потока

атлантического воздуха в средней тропосфере и в целом они уменьшаются в направлении его движения. На это накладывается орографический эффект, более четко проявляющийся в холодный период года, в результате и получаются устойчивые высокие значения r зимой почти во все годы. Более низкие значения r в 1991 и 1994 гг. (0,25 и 0,26 соответственно) могут быть связаны с ослаблением западного переноса зимой, усилением восточной формы циркуляции (увеличением ультраполярных вторжений и выходов южных циклонов). Это проявилось в пониженных значениях r в феврале и марте в те же годы, хотя они все равно существенно выше уровня значимости коэффициента корреляции, а, следовательно, даже при таких предполагаемых синоптических условиях наблюдается тесная положительная связь между рельефом и осадками.

Минимальное из всех сезонных значений r весной (0,25) можно связать с тем фактом, что с середины весны циклоническая деятельность ослабевает вследствие выравнивания температурного контраста между атлантическим и континентальным воздухом [3]. Большой разброс значений r весной связан, скорее всего, с сильной изменчивостью весенней погоды, зависящей от траекторий перемещения циклонов.

Высокое значение r осенью можно объяснить выпадением фронтальных осадков, зачастую на малоподвижных фронтах, что приводит к равномерному распределению осадков по территории в целом и более четкому на этом фоне проявлению орографического эффекта.

Летние значения r превышают весенние, но меньше зимних и осенних. При этом наблюдается большой разброс по месяцам и годам. Таким образом, связь между рельефом и осадками летом более сложная и неоднозначная (хотя все равно в целом положительная и тесная). На эту неоднозначность связи (большой разброс, неустойчивость по годам) повлияло осреднение по месяцам и наложение различных осадкообразующих процессов. Летом циклоническая деятельность ослаблена, доля фронтальных осадков уменьшается, увеличивается доля осадков внутримассового характера, для которых тоже проявляется орографический эффект.

Пространственное распределение осадков и их связь с рельефом можно проанализировать по картам изогий (линий равного количества осадков). Наибольшее соответствие между изогиями и рельефом наблюдается на картах теплого полугодия. Карта распределения осадков весной отличается наиболее сложным полем изогий (рис. 2). Это хорошо согласуется с низкими значениями r весной и в отдельные весенние месяцы и подтверждает сложность и нелинейность связи осадков с рельефом весной, а также ее большую изменчивость.

На картах пространственного распределения осадков летом, в теплый период и в отдельные летние месяцы изогии больше повторяют контуры рельефа в северной части, чем в южной (рис. 3). Следовательно, в северной части Прикамья связь рельеф–осадки летом больше, чем в южной. Это можно объяснить тем, что по мере продвижения с севера на юг при общем уменьшении осадков как фронтального, так и внутримассового характера

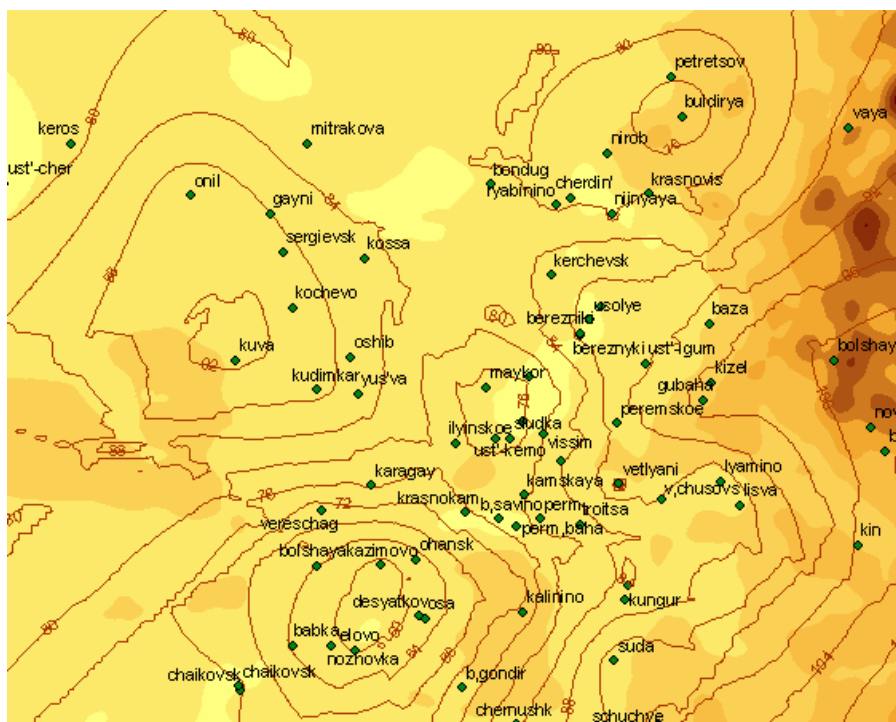


Рис. 3. Пространственное распределение осадков в июле, мм

3) связь осадки-рельеф максимальна осенью и зимой. Зимний максимум может быть связан с усиленной циклонической деятельностью, а осенний – с выпадением фронтальных осадков, что приводит к равномерному распределению осадков по территории в целом и более четкому на этом фоне проявлению орографического эффекта;

4) при переходе к большим периодам осреднения (месяц, сезон, полугодие, год) происходит компенсирующее наложение конкретных синоптических ситуаций, уменьшается изменчивость коэффициента корреляции (рис. 4).

8. *Хргиан А.Х.* О Влиянии Уральского хребта на облачность и осадки / А.Х. Хргиан // Там же. 1961. № 3. С. 10–17.

9. *Элизбарашвили Э.Ш.* К осреднению полей атмосферных осадков в горных условиях / Э.Ш. Элизбарашвили, Д.Н. Кереселидзе, Ш.Э. Элизбарашвили // Метеорология и гидрология. 2006. № 8. С. 54–58.