

Н.А. Калинин, А.А. Поморцева

ВЛИЯНИЕ ОРОГРАФИИ НА ПОЛЯ ОБЛАКОВ И ОСАДКОВ В ПЕРМСКОМ КРАЕ

N.A. Kalinin, A.A. Pomortseva

INFLUENCE OF OROGRAPHY ON FIELDS OF CLOUDS AND PRECIPITATION IN PERM KRAI

Приводятся результаты исследования влияния орографии на поля облаков и осадков в Пермском крае. Информационной основой послужили цифровая модель рельефа, данные наблюдений за облаками и осадками на метеорологических станциях и сведения о метеоявлениях с метеорологического радиолокатора МРЛ-5. Показана степень влияния на поля облачности и осадков рельефа местности и крупных водохранилищ.

Ключевые слова: облака, осадки, орография, водохранилища, метеорологический радиолокатор, конвективные явления, влажность, водозапас.

Results of research of influence of orography on fields of clouds and a precipitation are given in Perm Krai. The digital model of a relief, data of supervision over clouds and precipitation at meteorological stations and data on the meteorophenomena from the meteorological MRL-5 radar formed information basis. Extent of influence on fields of overcast and precipitation of a land relief and large reservoirs is shown.

Key words: clouds, precipitation, orography, reservoirs, meteorological radar, convective phenomena, water content, water stock.

Формирование и эволюция полей облаков и осадков в атмосфере зависит от большого числа факторов, среди которых одно из первых мест занимает орография. Влияние рельефа, поверхностей с различными термическими и влажностными свойствами с разной степенью шероховатости приводит к росту или уменьшению влагосодержания атмосферы, и, следовательно, к изменению влажности облаков и количества осадков. Цель данной статьи состоит в изучении влияния основных элементов орографии — рельефа и водохранилища, дающих наибольший вклад в процессы изменения влагосодержания атмосферы и эволюции полей облаков и осадков на территории Пермского края.

Пространственно-временное распределение осадков под влиянием рельефа

Зависимость выпадающих осадков от рельефа местности определяется высотой и изрезанностью склонов, их ориентацией и открытостью по отношению к влагонесущему потоку, горизонтальными размерами возвышенностей.

В умеренных широтах на распределение осадков даже на равнинной местности могут влиять элементы рельефа с относительными высотами более 50 м. Их основное

влияние на осадки заключается в том, что на наветренной стороне возвышенностей и гор за счет вынужденного подъема воздуха по склонам возникают орографические восходящие вертикальные движения, увеличивающие облачность и количество осадков, а на подветренной — нисходящие движения, способствующие размыванию облачности и уменьшению количества выпадающих осадков.

Уральские горы образуют протяженный природный барьер на пути движения западных влажных воздушных потоков и вызывают их трансформацию при переваливании. Отмечено, что влияние Уральских гор на поля осадков может проявляться уже на расстоянии 100 км от подножия склона [16, 17]. Для оценки влияния рельефа Предуралья на поля осадков определим меру тесноты связи между количеством выпадающих осадков и рельефом местности. Исходными данными для исследования послужила информация о среднемесечном количестве осадков на 77 метеостанциях и постах Пермского края за период с 1991 по 2013 г., приведенная в метеорологических ежемесячниках, и цифровая модель рельефа. Обработка информации производилась в пакетах ArcGIS 8.3 и Microsoft Excel. Значения сумм осадков и высота 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 при уровне значимости 0,95 [14].

Среднемесячные значения коэффициента корреляции между рельефом и осадками за многолетний период по месяцам представлены в табл. 1, из которой следует, что среднемесячные значения коэффициента корреляции между рельефом местности и количеством выпавших осадков изменяются от 0,06 (май) до 0,63 (февраль). В целом значения r положительны и превышают уровень значимости, что свидетельствует о существовании прямой связи между рельефом и осадками. Колебания r связаны с особенностями синоптических процессов в тот или иной месяц и год в целом. Наибольшие значения r наблюдаются в месяцы холодного периода: январе и феврале, наименьшие — в месяцы теплого периода: мае и июне. При этом минимальные значения осредненных по годам среднемесячных 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.

Таблица 1

Среднемесячные значения линейного коэффициента корреляции r между рельефом и осадками

Месяц											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,60	0,63	0,41	0,47	0,06	0,28	0,53	0,49	0,42	0,54	0,47	0,41

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, который 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.

Сезонное распределение r аналогично среднемесячным значениям. Наиболее устойчивая положительная связь между рельефом и осадками наблюдается зимой (0,55) и осенью (0,57). В летний период $r = 0,43$. Наибольший разброс значений r наблюдается весной, когда в отдельные годы отмечается как сильная положительная, так и значимая отрицательная связь, поэтому при осреднении по годам значение r весной минимально (0,25).

В осеннее-зимний период года, характеризующийся усиленной циклонической деятельностью и более низким уровнем конденсации, роль рельефа выражена чётче, особенно на наветренных склонах [1, 4–6, 12]. На европейской территории России зимой осадки в основном образуются на окклюдированных фронтах, где атлантический воздух отрезан от земли холодным континентальным. При этом количество осадков по территории зависит от общего направления потока атлантического воздуха в средней тропосфере и в целом уменьшается в направлении движения атлантического воздуха. На эту особенность распределения осадков накладывается орографический эффект, более четко проявляющийся в холодный период года, в результате чего и получаются устойчивые высокие значения r зимой почти во все годы. Более низкие значения r зимой в отдельные годы могут быть связаны с ослаблением западного переноса, усилением восточной формы циркуляции по классификации А.Л. Каца (увеличение ультраполярных вторжений и выходов южных циклонов) [3]. При этом эти пониженные значения r все равно существенно выше уровня значимости коэффициента корреляции, а, следовательно, даже при таких предполагаемых синоптических условиях наблюдается тесная положительная связь между рельефом и осадками.

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.

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. Большой разброс значений r весной связан, скорее всего, с сильной изменчивостью весенней погоды, зависящей от траекторий перемещения циклонов.

Летом значения r превышают весенние, но меньше зимних и осенних величин коэффициентов. При этом наблюдается большой разброс по месяцам и годам вследствие того, что связь между рельефом и осадками летом более сложная и неоднозначная. Поскольку циклоническая деятельность в летний период ослаблена, доля фронтальных осадков уменьшается, увеличивается доля внутримассовых осадков, в распределении которых также проявляется орографический эффект.

При осреднении по полугодиям все значения коэффициента r положительные и существенно выше уровня значимости, т.е. и в теплое, и в холодное полугодия в течение всего периода исследования наблюдалась устойчивая 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), что 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.

Таким образом, связь между рельефом и осадками является положительной и весьма устойчивой, т.е. мало изменяющейся год от года. Среднее за весь исследуемый период значение коэффициента корреляции составило 0,49.

Пространственное распределение конвективных явлений погоды в зависимости от рельефа местности по данным МРЛ

При исследовании пространственного распределения осадков и влияния подстилающей поверхности на поля облачности и осадков по данным метеорологических станций возникает следующая погрешность: значение количества осадков является точечной величиной, зафиксированной на данной станции, облачность — процентом покрытия неба облаками в ограниченной окрестности в районе станции. Поскольку метеостанции располагаются в типичной местности, а не в местах с особенностями орографии, то полученные метеорологические характеристики отражают общий характер подстилающей поверхности. Кроме того, метеостанции расположены на большом расстоянии друг от друга, поэтому лишь на основании информации метеостанций сделать однозначный вывод о влиянии подстилающей поверхности на поля облачности и осадков затруднительно. Интерполирование осадков по площади позволяет избежать прерывистости данной величины в пространстве, но не может быть применено при оценке распределения срочных или суточных осадков вследствие их дискретности. Для оценки распределения облачности и осадков по площади воспользуемся информацией, поступающей с площадного прибора — метеорологического радиолокатора (МРЛ). Поскольку МРЛ предназначен для штормооповещения, то наиболее адекватно и качественно он фиксирует и отображает поля конвективных явлений — ливней, гроз, града [13]. Данные явления в умеренных широтах фиксируются в теплый период года, поэтому далее будем рассматривать лишь конвективные явления (КЯ) теплого полугодия за 2005–2013 гг.

Элемент разрешения МРЛ-5 АМРК «Метеоячейка» (г. Пермь) представляет собой прямоугольник со сторонами 4×4 км. При анализе повторяемости будем оценивать частоту фиксации конвективного явления в каждом таком прямоугольнике, входящем в радиус обзора МРЛ (200 км) с конкретными координатами.

Проведенное исследование показало, что пространственное распределение КЯ по территории Пермского края достаточно равномерное. В центральной низменной части края отсутствуют зоны с максимальными значениями повторяемости КЯ; по данным МРЛ по всей центральной части Пермского края (от Верещагино до Лысьвы), а также областям вдоль Воткинского (Чайковский) и Камского водохранилищ (Березники) повторяемость КЯ не превышает 18 случаев (за 1 случай принят 1 день, в течение которого в данном элементе разрешения МРЛ было зафиксировано конвективное явление). При этом изолинии с минимальным числом случаев (10–25) проходят через

всю территорию Пермского края, охватывая юго-западные и часть южных районов края, склоны Уральских гор, всю западную часть территории, т.е. прослеживается повсеместно. Локальные в пространстве очаги с повторяемостью 45–55 случаев преобладают в центральной возвышенной части края, в районе Лысьвы. Также зоны повышенной повторяемости КЯ встречаются в горных районах (Бисер), охватывая большую территорию; несколько отдельных очагов расположено в западной части края. Все эти очаги находятся на возвышенных участках местности. Зоны с максимальными значениями повторяемости — более 60 случаев — в целом небольшие по горизонтальным размерам и большинство из них также располагаются на возвышенностях (Губаха, Лысьва), однако достаточно крупный очаг — 63 случая — наблюдается в северо-западной низменной части края (Кудымкар).

В целом можно отметить, что абсолютные высоты точек, в которых наблюдались КЯ, изменяются от 90 до 1570 м с преобладанием высот от 200 до 380 м. Так в течение всего периода исследования ливни фиксировались на высотах 90–925 м (распределение является одновершинным, с левосторонней асимметрией, модальное значение — 230 м), грозы — 90–860 м (одновершинное распределение с левосторонней асимметрией, мода — 235 м), град — 95–450 м (распределение двухвершинное с модами 200 и 380 м).

Пространственное распределение водности и водозапаса конвективных явлений погоды по данным МРЛ

Радиолокационная классификация явлений отличается от общепринятой синоптической, поскольку МРЛ определяет не вид, а вероятность явления в зонах повышенной радиолокационной отражаемости и высоты радиоэха. Обнаружение и распознавание явлений по радиолокационным характеристикам осуществляется тем точнее, чем больше величина отраженного от гидрометеоров сигнала [13]. При радиолокационном зондировании с интервалом не более 10 мин возможно от радиолокационной отражаемости перейти к накопленному за определенный отрезок времени количеству осадков. Но поскольку авторы при проведении исследования использовали данные МРЛ-5 АМРК «Метеоячейка» (г. Пермь), технические ресурсы которого не позволяют получать радиолокационные обзоры чаще, чем 1 раз в полчаса, то для оценки влияния рельефа были выбраны такие характеристики влажности, как водность и водозапас облака [4, 7–10].

Рассмотрим изменение водности (δ) и водозапаса (Q) конвективной облачности 17 июля 2006 г. В соответствии с предложенной авторами методикой [10] на основании данных радиолокационного зондирования были рассчитаны значения водности и водозапаса в радиолокационных конвективных ячейках с ливнем, грозой и градом. В расчетах участвовали значения радиолокационной отражаемости и высоты радиоэха, извлеченные из элементов разрешения АМРК «Метеоячейка», соответствующих зоне максимальной отражаемости (ядро радиоэха Cb), в которой в результате зондирования зафиксировано конвективное явление. По информации «Таблиц штормооповещения» АМРК «Метеоячейка» за исследуемый период было выделено 65 очагов ливней, 62 грозы и 15 града.

Согласно полученным данным (табл. 2), значения водности в очагах с *Cb* в течение всего исследуемого периода изменялись от 0,04 до 8,60 г/м³, составляя в среднем 3,48 г/м³.

Таблица 2

Значения водности δ (г/м³) радиолокационных конвективных ячеек с ливнями, грозой и градом

Вид явления в ячейке	Среднее	Минимальное	Максимальное
Ливень	0,24	0,04	2,48
Гроза	1,06	0,10	5,46
Град	3,61	1,14	8,60

Величина водности в *Cb*, определенная по данным МРЛ, существенно изменяется в зависимости от состояния атмосферы, стадии жизни облака, его удаления от локатора, наличия объектов и явлений, препятствующих распространению радиолуча (экранирующие осадки, рельеф, высокие здания и сооружения и т.п.). Кроме того, водность неравномерно распределяется в самом облаке. Коррелируя с радиолокационной отражаемостью, она увеличивается в слое 3–6 км в ядре радиоэха, и уменьшается к его периферии. Поскольку в расчетах были использованы значения отражаемости во всех *Cb* в пределах радиуса обзора МРЛ и на всех уровнях ядра конвективного облака, то амплитуда между максимальными и минимальными значениями водности достаточно высока. Так, в ливнях она составляет 2,44, в грозе — 5,36, в граде — 7,46 г/м³.

Вертикальный ход водности в градоопасных конвективных ячейках очень неравномерен. Значения водности изменяются от 0,02 г/м³ в нижней части облака и вблизи его вершины (1,14 г/м³ вблизи границ ядра радиоэха градоопасных *Cb*) до 8,60 г/м³ на высоте 7 км, составляя в среднем в ядре 3,61 г/м³. В ячейке может отмечаться несколько слоев с повышенными значениями водности, которые хорошо согласуются с высотами расположения изотерм –10 и –22°С. Наибольшие значения водности во всем слое конвективной ячейки с градом (8,60 г/м³) отмечались в срок 9 ч (среднее значение $\delta = 4,87$ г/м³), т.е. в период наиболее интенсивного развития конвекции, когда увеличиваются горизонтальные и вертикальные размеры облака. Отражаемость в радиолокационном ядре составила в среднем 54 dBZ, высота радиоэха градоопасной облачности — 12,75 км. В остальные сроки с градоопасной кучево-дождевой облачностью максимальное значение водности составило 6,30 г/м³. Для градоопасных, также как и для грозоопасных радиолокационных конвективных ячеек, отмечается резкое увеличение значений водности от нижней границы облака до уровня 4–7 км, а затем их уменьшение до вершины облака. Однако, в отличие от ячеек с грозой здесь больше мощность слоя с максимальными значениями водности. Полученные значения водности послужили основой для расчета значений водозапаса конвективной облачности [10].

Согласно расчетным данным во временном ходе водозапаса конвективных ячеек с ливнями отмечается несколько локальных максимумов и минимумов. При этом значения водозапаса изменяются в широких пределах: от 0,04 до 2,62 кг/м². Временной ход водозапаса в грозо- и градоопасных кучево-дождевых облаках очень неравномерен, и в зависимости от стадии развития облака изменяется от 1,98 до 17,35 кг/м² в ячейках с грозой и от 11,82 до 29,24 кг/м² в ячейках с градом.

Пространственное распределение водности и водозапаса облачности под влиянием водохранилищ по данным МРЛ

Оценим теперь, как изменяются значения водозапаса облачности и конвективных явлений при их прохождении через крупные водные объекты. Будем рассматривать водохранилища, расположенные на территории Пермского края, — Камское, Воткинское, Широковское, и соединяющую их р. Каму в широкой ее части. В районе водохранилищ и береговой зоны создается свой мезоклимат. Особенно заметны различия в тепловом режиме в сравнении с климатом остальной части региона. Наличие водного объекта оказывает влияние на величину водозапаса облачности. Считается, что влияние водохранилища распространяется до 4 км от береговой зоны — это зона водохранилища, где отмечается его непосредственное влияние на распределение всех метеовеличин [15].

Также будет рассмотрена территория, ограниченная, с одной стороны, зоной водохранилища, с другой — линией, удаленной от зоны на 8 км. Считается, что эта зона не испытывает влияния водохранилищ и реки, но при этом находится с ними в одной физико-географической и климатической зоне. Будем рассматривать водозапас облачности и явлений, зафиксированных над зоной водохранилищ и за ее пределами.

Сравнение двух зон за теплый период 2005–2013 гг. позволяет сделать следующие выводы (табл. 3). Наибольшие средние величины водозапаса облачности в мае преобладают над водохранилищем — 0,064 кг/м². Наибольшие средние величины водозапаса облачности в июне, июле и августе наблюдаются за пределами водохранилища — 0,126, 0,201 и 0,158 кг/м² соответственно. Максимальные значения водозапаса облаков в мае и августе отмечаются над зоной водохранилища — соответственно 1,340 и 2,942 кг/м², а в июне ($Q = 3,565$ кг/м²) и июле ($Q = 5,183$ кг/м²) — за его пределами. Минимумы Q над зоной водохранилища и за ее пределами практически не различаются во все исследуемые месяцы, кроме июля (0,009 и 0,003 кг/м² соответственно).

Таблица 3

Средненные значения водозапаса Q (кг/м²) над зоной водохранилища (числитель) и за ее пределами (знаменатель)

Месяц	Среднее	Минимальное	Максимальное
Май	0,064/0,053	0,005/0,004	1,340/0,461
Июнь	0,112/0,126	0,003/0,003	3,045/3,565
Июль	0,185/0,201	0,009/0,003	4,792/5,183
Август	0,154/0,158	0,005/0,004	2,942/2,089
Среднее	0,129/0,134	0,005/0,004	3,029/2,825

Полученная картина распределения Q над зоной водохранилища и за ее пределами объясняется особенностями прогрева подстилающей поверхности и, соответственно, распределения температуры воздуха и воды. Отметим, что в мае температура воздуха выше температуры воды, в остальные месяцы — наоборот. Это объясняется тем, что вода по своим теплофизическим свойствам более инерционна, чем воздух, температура

которого быстрее изменяется под действием как внешних, так и внутренних факторов. Также важно отметить своеобразие мезоклимата Камских водохранилищ и береговой полосы. При резких кратковременных похолоданиях в конце лета и осенью на побережьях водохранилищ, особенно на наветренных берегах, температура воздуха на 4–5°С выше, чем в пунктах, удаленных от водохранилищ. Обратный эффект наблюдается в конце весны, после вскрытия льда.

В целом, максимальные значения Q за теплый период приходится на июль, поскольку в этот месяц отмечаются наиболее высокие значения температуры воды и воздуха, а также наблюдаются активные процессы облакообразования и развития грозовой деятельности за счет двух факторов — динамической и термической конвекции [2, 5].

Пространственное распределение водности и водозапаса конвективной облачности под влиянием водохранилищ по данным МРЛ

Оценим эволюционные изменения водности и водозапаса конвективной облачности с явлениями под влиянием водохранилищ. Для этого отберем за период исследования случаи с Cb , в которые в течение последовательных радиолокационных сроков отмечалось прохождение конвективного облака над зоной водохранилища и оценим изменение значения Q до выхода на зону водохранилища, над водохранилищем и после выхода с зоны водохранилища.

Согласно полученным данным, значения водозапаса Cb с КЯ изменяются в пределах от 2,04 до 6,01 кг/м², и в среднем составляют 4,12 кг/м².

В табл. 4 представлены среднемесячные значения водозапаса ячеек с грозами, его минимальные и максимальные значения по мере прохождения облачности над водохранилищем. Из этих данных следует, что мере прохождения Cb с КЯ над водохранилищем в целом происходит их усиление, т.е. значения водозапаса в большинстве случаев увеличиваются. Так, среднее значение водозапаса кучевой облачности до водохранилища составило 3,70 кг/м², над водохранилищем — 4,15 кг/м², а после водохранилища — 4,52 кг/м², что объясняется дополнительным притоком влаги от испаряющейся воды водохранилища. Такое же соотношение водозапаса сохраняется и в случае максимальных значений Q (соответственно 4,86; 5,34 и 5,77 кг/м²).

Таблица 4

Осредненные значения водозапаса Q (кг/м²) грозовых ячеек до зоны водохранилища (первое значение), над водохранилищем (второе значение) и после выхода из зоны водохранилища (третье значение)

Месяц	Среднее	Минимальное	Максимальное
Май	3,23/3,99/4,31	2,04/2,93/2,47	4,08/4,94/6,01
Июнь	3,79/4,31/4,61	2,58/3,01/3,54	5,15/5,91/5,69
Июль	3,94/4,19/4,68	2,47/3,25/3,08	5,37/5,51/5,80
Август	3,85/4,11/4,49	3,29/3,44/3,44	4,83/5,05/5,58
среднее	3,70/4,15/4,52	2,60/3,16/3,13	4,86/5,34/5,77

Средняя картина распределения Q по минимальным значениям, формируемая преимущественно за счет данных мая, другая, когда по мере прохождения облака над водохранилищем, значения отражаемости сначала увеличиваются, а затем уменьшаются. Так, в мае за период исследования отмечается ряд случаев, когда значения отражаемости после водохранилища были меньше, чем ее значения над водохранилищем (например, 30.05.2011 г., 21.05.2012 г.). Уменьшение значений отражаемости после водохранилища объясняется тем, что в эти дни температура воздуха была значительно выше или не отличалась от температуры воды, т.е. за счет охлаждения воздуха водной поверхностью происходило уменьшение значений водозапаса после водохранилища. Аналогичные ситуации наблюдались и в другие месяцы, когда значения водозапаса уменьшались по мере прохождения зоны водохранилища, поскольку температура воздуха была выше, чем температура воды, и, следовательно, грозовое облако постепенно разрушалось (например, 06.06.2011 г., 10.07.2013 г.).

Подводя итог необходимо отметить, что в результате проведенного исследования выявлено влияние объектов подстилающей поверхности на поля облачности и осадков. Такое влияние неоднозначно проявляется в различные сезоны года, и, несомненно, должно учитываться при региональном прогнозе осадков [11].

Литература

1. *Алибегова Ж.Д.* Пространственно-временная структура полей жидких осадков. Монография. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 228 с.
Alibegova Zh.D. Prostranstvenno-vremennaya struktura poley zhidkikh osadkov. Monografiya. — L.: Gidrometeoizdat, 1985. — 228 s.
2. *Калинин Н.А.* Динамическая метеорология. Учебник для вузов. — Пермь: ПГУ, 2009. — 256 с.
Kalinin N.A. Dinamicheskaya meteorologiya. Uchebnik dlya vuzov. — Perm': PGU, 2009. — 256 s.
3. *Калинин Н.А.* Связь аномалий среднесуточной температуры воздуха в г.Перми с формами атмосферной циркуляции Каша. // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Естественные науки, 2012, т. 154, кн. 1, с. 224–231.
Kalinin N.A. Svyaz' anomalii srednesutochnoy temperatury vozdukh v g.Permi s formami atmosfernoj tsirkulyatsii Katsa. // Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Estestvennyye nauki, 2012, t. 154, kn. 1, s. 224–231.
4. *Калинин Н.А., Ветров А.Л.* Генерация доступной потенциальной энергии вследствие крупномасштабной конденсации в циклонах умеренных широт. // Метеорология и гидрология, 2002, № 4, с. 17–27.
Kalinin N.A., Vetrov A.L. Generatsiya dostupnoy potentsial'noy energii vsledstvie krupnomasshtabnoy kondensatsii v tsiklonakh umerennykh shirot. // Meteorologiya i gidrologiya, 2002, № 4, s. 17–27.
5. *Калинин Н.А., Ветров А.Л., Свиязов Е.М., Попова Е.В.* Изучение интенсивной конвекции в Пермском крае с помощью модели WRF. // Метеорология и гидрология, 2013, № 9, с. 21–30.
Kalinin N.A., Vetrov A.L., Sviyazov E.M., Popova E.V. Izuchenie intensivnoy konveksii v Permskom krae s pomoshch'yu modeli WRF. // Meteorologiya i gidrologiya, 2013, № 9, s. 21–30.
6. *Калинин Н.А., Попова Е.В.* Численный прогноз опасных и неблагоприятных снегопадов в Пермском крае 15–16 марта 2013 г. // Ученые записки РГГМУ, 2013, № 32, с. 7–16.
Kalinin N.A., Popova E.V. Chislennyy prognos opasnykh i neblagopriyatnykh snegopadov v Permskom krae 15–16 marta 2013 g. // Uchenye zapiski RGGMU, 2013, № 32, s. 7–16.
7. *Калинин Н.А., Смирнова А.А.* Совместное использование данных радиолокационных и станционных наблюдений для анализа облачных полей. // Метеорология и гидрология, 2002, № 8, с. 53–60.
Kalinin N.A., Smirnova A.A. Sovmestnoe ispol'zovanie dannykh radiolokatsionnykh i stantsionnykh nablyudeniy dlya analiza oblachnykh poley. // Meteorologiya i gidrologiya, 2002, № 8, s. 53–60.
8. *Калинин Н.А., Смирнова А.А.* Численный анализ данных радиолокационных и станционных измерений облачности. // Метеорология и гидрология, 2003, № 7, с. 31–39.

- Kalinin N.A., Smirnova A.A.* Chislennyy analiz dannykh radiolokatsionnykh i stantsionnykh izmereniy oblachnosti. // *Meteorologiya i gidrologiya*, 2003, № 7, s. 31–39.
9. *Калинин Н.А., Смирнова А.А.* Исследование радиолокационных характеристик для распознавания опасных явлений погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью. // *Метеорология и гидрология*, 2005, № 1, с. 84–95.
Kalinin N.A., Smirnova A.A. Issledovanie radiolokatsionnykh kharakteristik dlya raspoznavaniya opasnykh yavleniy pogody, svyazannykh s kuchevo-dozhdevoy oblachnost'yu. // *Meteorologiya i gidrologiya*, 2005, № 1, s. 84–95.
10. *Калинин Н.А., Смирнова А.А.* Определение водности и водозапаса кучево-дождевой облачности по информации метеорологического радиолокатора. // *Метеорология и гидрология*, 2011, № 2, с. 30–43.
Kalinin N.A., Smirnova A.A. Opredelenie vodnosti i vodozapasa kuchevo-dozhdevoy oblachnosti po informatsii meteorologicheskogo radiolokatora. // *Meteorologiya i gidrologiya*, 2011, № 2, s. 30–43.
11. *Калинин Н.А., Смирнова А.А., Ветров А.Л.* Мезомасштабный анализ и сверхкраткосрочный прогноз погоды. // *Ученые записки Казанского государственного университета. Серия Естественные науки*, 2009, т. 151, кн. 4, с. 209–216.
Kalinin N.A., Smirnova A.A., Vetrov A.L. Mezomasshtabnyy analiz i sverkhkratkosrochnyy prognoz pogody. // *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki*, 2009, t. 151, kn. 4, s. 209–216.
12. *Калинин Н.А., Смородин Б.Л.* Редкое явление замерзающего дождя в Пермском крае. // *Метеорология и гидрология*, 2012, № 8, с. 27–35.
Kalinin N.A., Smorodin B.L. Redkoe yavlenie zamerzayushchego dozhdya v Permskom krae. // *Meteorologiya i gidrologiya*, 2012, № 8, s. 27–35.
13. *Калинин Н.А., Толмачева Н.И.* Комплексное использование дистанционных средств наземного и космического базирования для анализа условий погоды. Монография. — Пермь, 2003. — 260 с.
Kalinin N.A., Tolmacheva N.I. Kompleksnoe ispol'zovanie distantsionnykh sredstv nazemnogo i kosmicheskogo bazirovaniya dlya analiza usloviy pogody. Monografiya. — Perm', 2003. — 260 s.
14. *Коновалова Н.В., Коробов В.Б., Васильев Л.Ю.* Интерполирование климатических данных при помощи ГИС-технологий. // *Метеорология и гидрология*, 2006, № 5, с. 46–53.
Konovalova N.V., Korobov V.B., Vasil'ev L.Yu. Interpolirovanie klimaticheskikh dannykh pri pomoshchi GIS-tehnologiy. // *Meteorologiya i gidrologiya*, 2006, № 5, s. 46–53.
15. *Матарзин Ю.М.* Гидрология водохранилищ. Учебник для вузов. — Пермь: ПГУ, 2003. — 295 с.
Matarzin Yu.M. Gidrologiya vodokhranilishch. Uchebnyk dlya vuzov. — Perm': PGU, 2003. — 295 s.
16. *Стулов Е.А.* Оценка орографического увеличения жидких осадков над мезомасштабными неоднородностями рельефа. // *Метеорология и гидрология*, 1997, № 5, с. 27–35.
Stulov E.A. Otsenka orograficheskogo uvelicheniya zhidkikh osadkov nad mezomasshtabnymi neodnorodnostyami rel'efa. // *Meteorologiya i gidrologiya*, 1997, № 5, s. 27–35.
17. *Хрджан А.Х.* О Влиянии Уральского хребта на облачность и осадки. // *Метеорология и гидрология*, 1961, № 3, с. 10–17.
Khrgjan A.Kh. O Vliyanii Ural'skogo khrebt na oblachnost' i osadki. // *Meteorologiya i gidrologiya*, 1961, № 3, s. 10–17.