

## Метеорология

Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.

## МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.576.12

DOI: 10.17072/2079-7877-2020-3-113-124

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМ ПРИ ВЫПАДЕНИИ СИЛЬНЫХ ДОЖДЕЙ

**Сергей Владимирович Костарев**Scopus ID: 57205331229, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2576-6219>,

SPIN-код: 2505-6098, AuthorID: 993950

e-mail: kostarevsfergo@yandex.ru

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург***Андрей Леонидович Ветров**Scopus ID: 7004921143, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3844-0111>,

SPIN-код: 7443-5860, AuthorID: 112794

e-mail: vetrov@psu.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь***Богдан Алексеевич Сивков**Scopus ID: 57205329819, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9322-9696>,

SPIN-код: 9072-3998, AuthorID: 907087

e-mail: sivkovbogdan@yandex.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь***Анна Александровна Поморцева**Scopus ID: 7102113984, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7912-2902>,

SPIN-код: 7310-0611, AuthorID: 132386

e-mail: smirnova@psu.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь*

Представлены результаты исследования радиолокационных характеристик мезомасштабных систем осадков (МСО) (максимальная высота радиоэха облаков и осадков, метеорологические явления по данным радиолокатора, скорость и направление смещения радиоэха), с которыми связано выпадение сильных дождей в Предуралье. Предпринята попытка классификации МСО в соответствии с горизонтальным масштабом и геометрическими характеристиками, а также характером выпадения осадков. Указаны статистические характеристики радиолокационных облачных систем, дающих сильные осадки, с учетом их классификации по масштабам. Радиолокационные характеристики получены с помощью приборов в Ижевске и Уфе за теплый период 2016–2017 гг. Данные результаты могут учитываться при подготовке прогнозов возникновения сильных дождей в режиме наукастинга.

**Ключевые слова:** сильные дожди; радиолокационные характеристики; мезомасштабные конвективные системы; мезомасштабные системы осадков; Предуралье.

## RADAR CHARACTERISTICS OF CLOUD SYSTEMS DURING HEAVY RAIN EVENTS

**Sergey V. Kostarev**Scopus ID: 57205331229, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2576-6219>,

SPIN-код: 2505-6098, AuthorID: 993950,

e-mail: kostarevsfergo@yandex.ru

*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg*

*Метеорология**Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.***Andrey L. Vetrov**Scopus ID: 7004921143, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3844-0111>,

SPIN-код: 7443-5860, AuthorID: 112794

e-mail: [vetrov@psu.ru](mailto:vetrov@psu.ru)*Perm State University, Perm***Bogdan A. Sivkov**Scopus ID: 57205329819, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9322-9696>,

SPIN-код: 9072-3998, AuthorID: 907087

e-mail: [sivckovbogdan@yandex.ru](mailto:sivckovbogdan@yandex.ru)*Perm State University, Perm***Anna A. Pomortseva**Scopus ID: 7102113984, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7912-2902>,

SPIN-код: 7310-0611, AuthorID: 132386

e-mail: [smirnova@psu.ru](mailto:smirnova@psu.ru)*Perm State University, Perm*

The paper analyzes radar characteristics of mesoscale precipitation systems associated with heavy precipitation in Western Urals. The characteristics under study, obtained from the Doppler weather radar, include the maximum height of the radar echo of clouds and precipitation, meteorological phenomena, speed and direction of the radar echo movement. An attempt was made to classify mesoscale precipitation systems with respect to their horizontal scales and geometrical features as well as precipitation patterns. Statistical features of radar characteristics of cloud systems causing heavy rain were calculated taking into account their classification by horizontal scales. Radar meteorological characteristics were obtained from instruments in the Izhevsk city and Ufa city for the warm period of 2016–2017. The results can be used during nowcasting of heavy precipitation events.

**Key words:** heavy precipitation, radar characteristics, mesoscale convective systems, mesoscale precipitation systems, Western Urals.

**Введение**

Метеорологические радиолокаторы (радары) являются эффективным средством диагноза и сверхкраткосрочного прогноза опасных явлений погоды (ОЯ), связанных с выпадением осадков (сильные обложные осадки, ливни), а также получения информации о характеристиках радиоэха облаков и осадков, с которыми связаны ОЯ. В Пермском крае исследования радиолокационных характеристик облаков и осадков в контексте обнаружения и прогнозирования ОЯ проводились ранее в работах [10; 15; 18–21].

В работе [18] исследованы радиолокационные характеристики облаков для ряда случаев возникновения ОЯ (ливни, грозы, шквалы, град) за 2007 г., а также проведено сравнение радиолокационных данных со спутниковой информацией и данными приземных наблюдений. Исследование [19] посвящено влиянию на радиоэха облачности и зон осадков (РОЗО) крупных промышленных центров Пермского края. Определение статистических характеристик повторяемости ОЯ (ливневых осадков, гроз и града) различной интенсивности в совокупности с изучением многолетнего, годового и суточного хода конвективных явлений в Пермском крае по данным спутниковых и радиолокационных наблюдений проведено в работе [21]. Авторами также было получено распределение радиолокационной отражаемости в зависимости от характера рисунка облачного поля (мезоструктура) по данным спутниковых наблюдений. Временная динамика радиолокационных характеристик и их вертикальное распределение при формировании кучево-дождевой облачности на примере развития комплекса ОЯ 17 июля 2006 г. приведены в статье [15].

На территории РФ исследования параметров радиоэха облаков и осадков проводились с 60-х гг. прошлого века. Ряд работ посвящен изучению физического механизма образования и возможностей прогнозирования грозо- и градоопасных кучево-дождевых облаков [7; 9–11;

*Метеорология**Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.*

20]. В цикле работ [2; 12] приводятся авторские исследования, посвященные классификации и структурной организации мезомасштабных конвективных систем (МКС), а также изучению жизненного цикла МКС [1]. В последние годы возрос интерес исследователей к проблеме обнаружения и прогнозирования шквалов по данным радиолокационных наблюдений [3; 4; 10; 16].

Целью настоящей работы является исследование и обобщение радиолокационных характеристик облачности при выпадении сильных дождей на территории Предуралья по данным сети метеорологических локаторов. Несмотря на достаточно хорошую изученность радиолокационных характеристик облаков на территории РФ и, в частности, Предуралья, исследование параметров радиоэха мезомасштабных систем осадков на обширной выборке случаев выпадения сильных дождей для Предуралья ранее не проводилось.

**Материалы и методы исследования**

Согласно Наставлению по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения [13] выделяют несколько ОЯ, связанных с выпадением большого количества осадков за ограниченный интервал времени: сильный ливень (30 мм осадков и более за час и менее), очень сильный дождь (в том числе со снегом) (не менее 50 мм за период не более 12 ч), продолжительный сильный дождь (не менее 100 мм за период 12–48 ч или не менее 120 мм за один дождь). Однако выпадение жидких осадков интенсивностью от 15 до 49 мм за 12 ч (сильный дождь, ливневый дождь (ливень), сильные осадки, сильный мокрый снег, сильный дождь со снегом, сильный снег с дождем [13]) в населенной местности также неблагоприятно сказывается на населении, объектах инфраструктуры, сельском хозяйстве за счет подтопления пониженных форм рельефа, размывания грунта, полегания культурных растений и т.д. Своевременное предсказание интенсивности и степени опасности приближающейся к населенному пункту зоны сильных осадков, несомненно, является важной задачей систем раннего предупреждения о наступлении неблагоприятных явлений погоды.

Отбор случаев сильных дождей ( $\geq 15$  мм/12 ч) проводился за период 2016–2017 гг. по данным измерений полусуточных сумм осадков на сети метеостанций юго-западной части Пермского края, восточных районов Удмуртии и северных районов Башкортостана (рис. 1). Район исследования попадает в зону радиолокационного обзора двух метеорологических локаторов, установленных в городах Ижевск и Уфа. За исследуемый период в изучаемом районе был выявлен 41 день с сильными дождями, в течение которых отмечалось 49 МСО, что соответствует 101 случаю. За 1 случай принят один метеорологический срок, в который наблюдателем фиксировались сильные дожди на одной метеостанции. При этом отмечались дни, в которые событие регистрировалось в один срок на разных метеорологических станциях территории исследования (например, 03.06.2016 г. срок 3 ч Всемирного координированного времени (ВКВ), 09.09.2017 г. срок 15 ч ВКВ), и дни, когда одна или несколько станций регистрировали сильный дождь в несколько сроков (например, 06.09.2016 г. сроки 3 и 15 ч ВКВ, 25.06.2017 г. сроки 3 и 15 ч ВКВ).

Для определения статистических характеристик радиоэха облачных систем с сильными осадками были рассмотрены следующие характеристики: максимальная высота радиоэха облачности и осадков ( $H_{\max}$ , км), метеоявления в соответствии с критериями распознавания [6], а также направление ( $D$ , 16 румбов) и скорость ( $V$ , км/ч) смещения МКС.

Первый этап анализа представлял собой оценку на основе карты метеоявлений и синоптических карт наблюдаемой синоптической ситуации и определение характера выпадения сильных осадков при прохождении через территорию исследования мезомасштабной системы осадков в соответствии с 3 возможными типами: обложной, ливневой и одновременно обложной и ливневой (в том числе затопленная («маскированная» конвекция)), что соответствует радиолокационной классификации типа радиоэха РСО

## Метеорология

Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.

(радиоэхо слоистообразных облаков), РКО (радиоэхо конвективных облаков) и РКСО (радиоэхо конвективных и слоистообразных облаков). Затапленная конвекция отмечается наблюдателями как резкие колебания интенсивности осадков при прохождении через пункт наблюдений зоны обложных осадков, связанных с атмосферным фронтом (как правило, теплым фронтом либо холодным фронтом I рода). Существование зон интенсивных осадков в данном случае объясняется наличием в зоне фронта кучево-дождевых облаков, основания которых скрыты в слое слоистообразных облаков и не могут быть идентифицированы при наземных наблюдениях. МСО, содержащие одновременно кучево-дождевые (Cb) и слоисто-дождевые (Ns) облака, отмечаются в МКС чаще всего в стадии зрелости. При этом расположение Cb на фоне зоны Ns может быть различным: с ведущим или ведомым регионом конвективных осадков, с центральным или распределенным расположением конвекции. На экране МРЛ обе системы облаков хорошо отличаются именно в стадии зрелости МКС; при диссипации интенсивность конвективных потоков ослабевает и Cb уже не так выделяются по высоте и значениям отражаемости на фоне Ns. Это обстоятельство дает возможность обнаружения затапленной конвекции только с помощью радиолокационных данных и объясняет редкую регистрацию такого явления наблюдателями на метеорологических станциях. Между тем изучение региональных особенностей МСО с Cb на фоне наблюдающегося монотонного выпадения обложных осадков представляет определенный интерес для сверхкраткосрочного прогнозирования погоды.

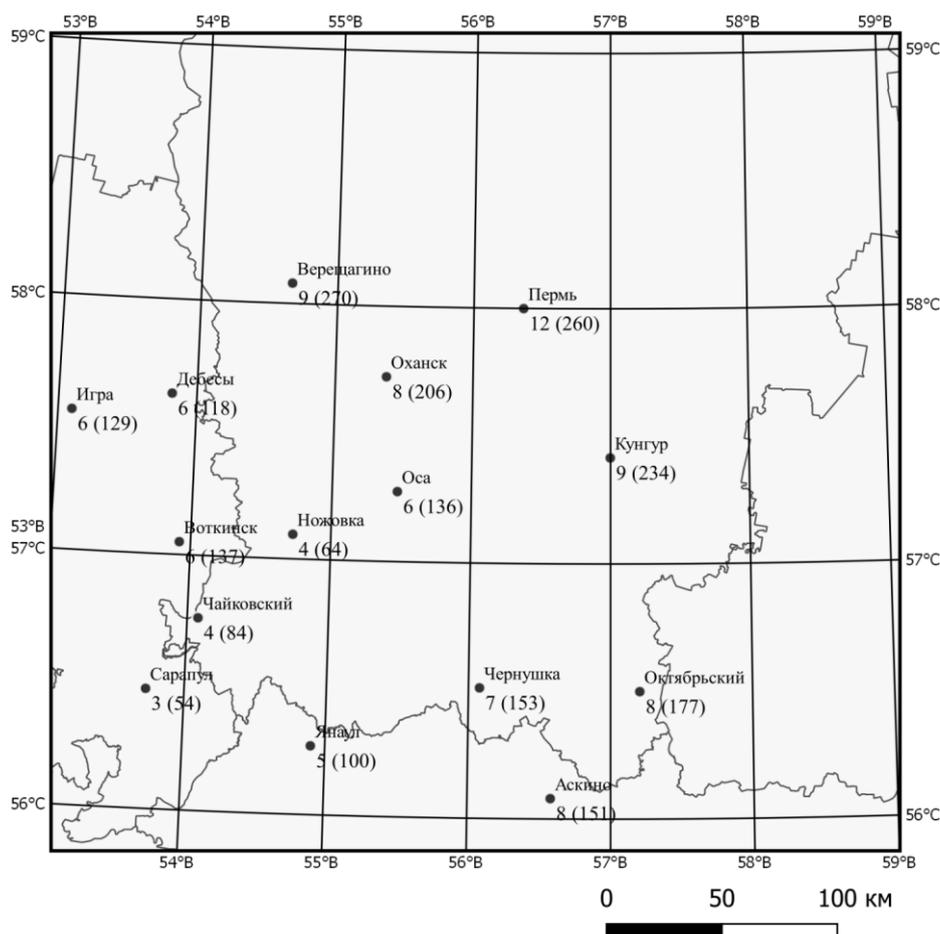


Рис. 1. Число исследованных случаев с осадками ( $\geq 15$  мм/12 ч) на метеорологических станциях (отмечены черными точками), в скобках общая сумма осадков исследованных случаев (мм) в период с 2016 по 2017 г.  
Fig. 1. The number of analyzed rain events ( $\geq 15$  mm/12 h) at meteorological stations (black dots). The total sum of precipitation for the analyzed events (mm) from 2016 to 2017 is given in brackets.

## Метеорология

Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.

Таблица 1

Классификация СГК по масштабу и геометрическим характеристикам  
Classification of deep convective systems according to scale and geometrical features

Конфигурация СГК	Масштаб	Тип СГК
Системы линейной конвекции	мезо- $\alpha$	Линии неустойчивости (ЛН)
	мезо- $\beta$	Гряды кучево-дождевых облаков
Системы осесимметричной конвекции	мезо- $\alpha$	Мезомасштабные конвективные комплексы (МКК)
	мезо- $\beta$	Скопления (ячейки) кучево-дождевых облаков

Для случаев выпадения сильных осадков при прохождении через территорию исследования МСО с системами РКО и РКСО была предпринята попытка определить масштаб систем глубокой конвекции (СГК). За основу бралась условная классификация, принятая в работах [5; 23]. Дополнительно СГК классифицировались [12; 17; 22] на основе их геометрии и горизонтальных размеров (табл. 1). При этом следует отметить, что при классифицировании МСО необходимо учитывать временной фактор существования системы: эволюцию, отношение максимума интенсивности МСО ко времени выпадения сильных осадков. В данном исследовании системы осадков фиксировались в синоптические сроки, авторы не могли достоверно утверждать, на какой стадии находится МСО в момент фиксации.

Значения характеристик радиоэха облачных систем, определяемых с помощью карт вторичных радиолокационных продуктов ДМРЛ-С (метеоявления и высота радиоэха), были получены при прохождении МСО через пункт наблюдений, в котором зафиксировано явление «сильный дождь». По выборке случаев строились гистограммы распределения значений рассматриваемых характеристик по заданным градациям.

Скорость и направление смещения облачных систем определялись в момент прохождения зоны наиболее интенсивных осадков через пункт наблюдения. Для обобщения данных о скорости и направлении смещения облачных систем строились гистограммы распределения скорости по градациям, а также роза ветров, учитывающая повторяемость различных направлений смещения.

Наличие грозовой активности и ее соответствие данным ДМРЛ в местах выпадения сильных осадков исследовались с помощью карт грозových разрядов, полученных с использованием грозопеленгационной сети (meteorad.ru). В рамках данного исследования было принято, что гроза наблюдалась в пункте наблюдений, если грозовые разряды фиксировались в радиусе 10 км от него, что приблизительно соответствует пределу обнаружения грозы по данным приземных наблюдений [14].

### Результаты и их обсуждение

Синоптический анализ и исследование радиолокационных характеристик показали, что более половины от общего числа случаев сильных дождей связаны с прохождением МСО с зонами С<sub>b</sub> на фоне N<sub>s</sub>, в том числе с возникновением зон затопленной конвекции на атмосферных фронтах (теплом фронте, холодном фронте I рода, фронте окклюзии по типу холодного) (рис. 2). В 39% случаев сильные дожди носили ливневой характер и были связаны с основными либо вторичными холодными фронтами, а также с развитием внутримассовой конвекции. Установлено, что лишь в 8% случаев сильные дожди носили обложной характер. Полученное распределение числа случаев сильных дождей по характеру выпадения осадков позволяет сделать вывод о том, что абсолютное большинство случаев связано с развитием кучево-дождевой облачности, в том числе с возникновением зон затопленной конвекции на фронтах.

## Метеорология

Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.

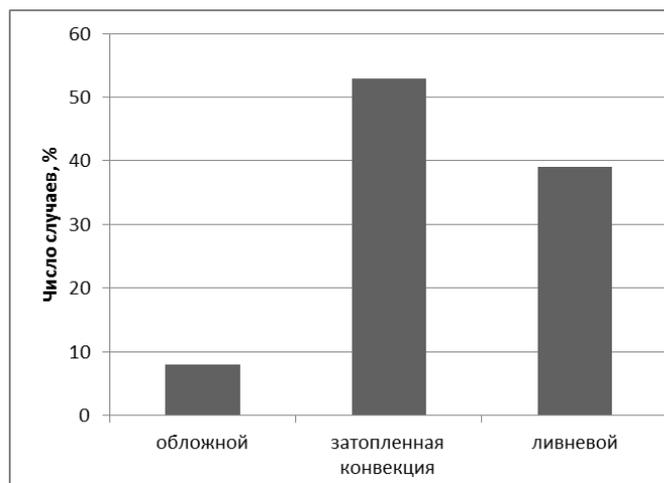


Рис. 2. Распределение числа случаев сильных дождей по характеру выпадения осадков

Fig. 2. Distribution of the number of heavy rain events by precipitation patterns

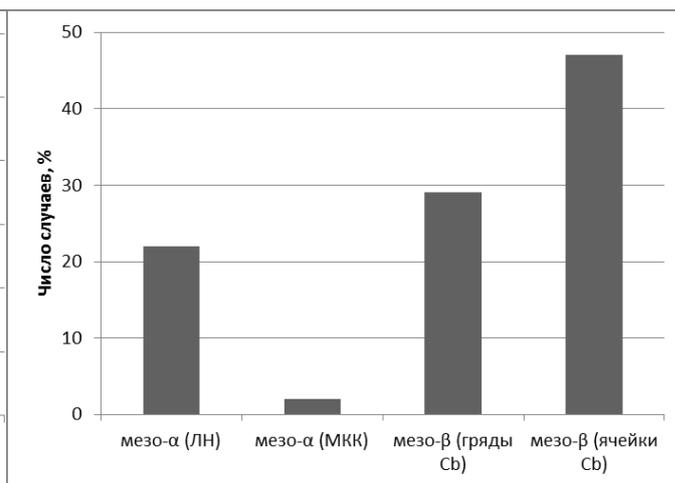
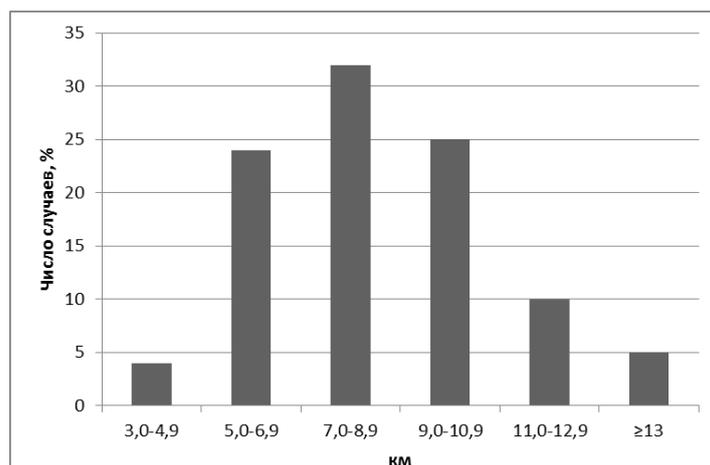


Рис. 3. Распределение СГК по масштабу и конфигурации

Fig. 3. Distribution of deep convective systems by scale and configuration

Рис. 4. Распределение высоты радиоза ( $H_{\max}$ ) при выпадении сильных осадковFig. 4. Distribution of the echo top height ( $H_{\max}$ ) during heavy rain

Оценивание конфигурации и линейных размеров СГК в случаях выпадения сильных дождей, связанных с образованием систем кучево-дождевых облаков и развитием конвекции, показало, что более распространенными являются СГК масштаба мезо-β (горизонтальный размер 20–200 км). Их повторяемость составляет 76% общего числа случаев, при этом более характерна осесимметричная структура облачных систем, чем линейная структура (рис. 3). СГК масштаба мезо-α распространены значительно меньше – с их формированием связано лишь 24% случаев. Следует отметить, что при рассмотрении масштаба мезо-α повторяемость линейной структуры (ЛН) многократно превышает повторяемость осесимметричной структуры (МКК).

По-видимому, преобладание линейной структуры на масштабе мезо-α связано с особенностями формирования СГК различных типов [17]. Так, ЛН формируются на линиях конвергенции, которые связаны с атмосферными фронтами или мезомасштабными ложбинами (например, в теплом секторе циклона на поздних стадиях развития или после начала регенерации). МКК могут иметь как внутримассовое, так и фронтальное происхождение, хотя для их формирования благоприятно наличие зон конвергенции, связанных с мезомасштабными депрессиями в малоградиентном поле пониженного давления

## Метеорология

Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.

или процессами циклогенеза (образования волны) на холодном фронте. Поскольку чаще сильные осадки связаны с развитием конвекции на атмосферных фронтах, можно предположить, что образование линейных систем (ЛН) является более типичным, чем формирование МКК. Дополнительными факторами, способствующими развитию конвекции и выпадению интенсивных осадков в зонах атмосферных фронтов, являются значительный контраст термогигрометрических характеристик, а также неоднородность поля ветра.

Приведенные выше результаты носят дискуссионный характер, поскольку авторы не могут утверждать, что все зафиксированные МСО оценивались в стадии зрелости МКС.

Рассмотрим повторяемость максимальной высоты радиоэха облачности и осадков при регистрации сильных дождей и ливней (рис. 4). Приведенная характеристика имеет выраженный максимум в градации 7,0–8,9 км. Максимум  $H_{\max}$  в отдельных случаях достигает 15 км, минимум составляет 3 км. Среднее значение  $H_{\max}$  при выпадении сильных осадков составляет 8,1 км.

Исследована связь  $H_{\max}$  с характером выпадения осадков. Установлено, что при выпадении обложных осадков средняя  $H_{\max}$  составляет 5,4 км. В зонах полей, содержащих осадки Сб и Ns, в том числе поля затопленной конвекции, среднее значение  $H_{\max}$  равно 7,0 км, при этом максимальные значения не превышают 10 км. При выпадении ливневых осадков  $H_{\max}$  в среднем равна 10,0 км. Увеличение масштаба СГК также приводит к возрастанию  $H_{\max}$ : для масштаба мезо-β среднее значение  $H_{\max}$  равно 7,6 км, для мезо-α – 10,5 км. Таким образом, высота радиоэха резко возрастает при выпадении ливневых осадков и увеличении масштаба облачных систем, с которыми они связаны.

Повторяемость метеоявлений, сопровождающих выпадение сильных осадков, приведена в табл. 2. Почти в половине случаев при выпадении сильных осадков наблюдаются только ливни различной интенсивности. В 31% случаев отмечается гроза с вероятностью более 30%. Град различной интенсивности зафиксирован в 9% случаев сильных дождей. Крайне редко (2% случаев) по данным ДМРЛ наблюдается слабый или умеренный шквал.

Таблица 2

Повторяемость метеоявлений при выпадении сильных осадков  
Repeatability of meteorological phenomena during heavy rain

Метеоявление	Число случаев, %
Сильный дождь	9
Ливень	49
Гроза	31
Град	9
Шквал	2

Установлено, что при выпадении сильных осадков прохождение СГК масштаба мезо-α сопровождается грозами с вероятностью более 70%, а также градом или шквалами. СГК масштаба мезо-β характеризуются наличием грозы с вероятностью более 30% либо слабым градом лишь в 28% исследованных случаев. В остальных случаях при прохождении СГК масштаба мезо-β зафиксированы ливни различной интенсивности.

По данным грозопеленгационной сети, при выпадении сильных осадков грозы в радиусе 10 км от пункта наблюдений наблюдаются лишь в 38% случаев, что в целом очень близко к оценке, полученной с помощью ДМРЛ и составляющей 42% (в данном случае объединены вероятности грозы, града и шквала, так как два последних метеорологических явления без грозовой деятельности не развиваются).

Преобладающими направлениями смещения (откуда сместилось) облачных систем, с которыми связаны сильные осадки, являются западно-юго-западное (23% случаев), юго-юго-

## Метеорология

Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.

западное, юго-западное и северо-западное (по 11% случаев). Распределение направлений смещения представлено на рис. 5. Следует подчеркнуть, что с севера, северо-востока, востока и юго-востока облачные системы смещаются крайне редко. Так, суммарная повторяемость направлений смещения от северного до юго-восточного (включительно) не превышает 6% случаев.

Распределение скорости смещения облачных систем (рис. 6.) следующее: скорость смещения облачных систем имеет максимум в области 31–40 км/ч, средняя скорость смещения – 39 км/ч. Из рис. 6 следует, что распределение скорости имеет признаки асимметрии, что выражается в повышенной повторяемости малых (менее 30 км/ч) скоростей при выпадении сильных осадков. Данный факт согласуется с физическими представлениями о характере формирования сумм осадков в пункте наблюдений: при прочих равных условиях, чем выше скорость смещения облачной системы, тем меньше количество выпавших осадков.

Выявленные особенности распределения скорости и направления смещения облачных систем соответствуют наблюдаемым характеристикам ветра в средней тропосфере на изобарических поверхностях 500 и 700 гПа, от которых зависит перемещение облачных систем [8; 17].

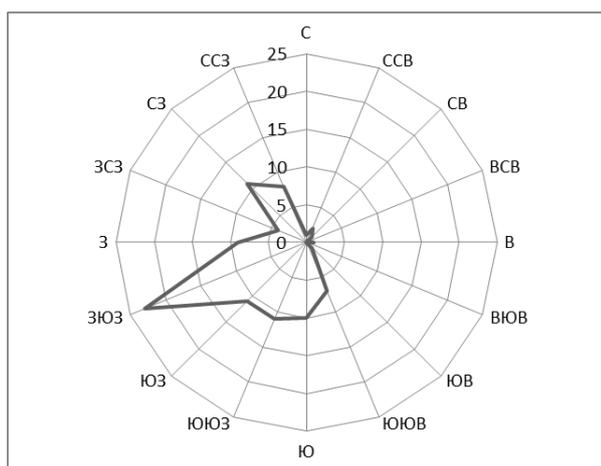


Рис. 5. Повторяемость направлений смещения облачных систем при выпадении сильных осадков, %  
Fig. 5. Repeatability (%) of the cloud system movement directions during heavy rain, %

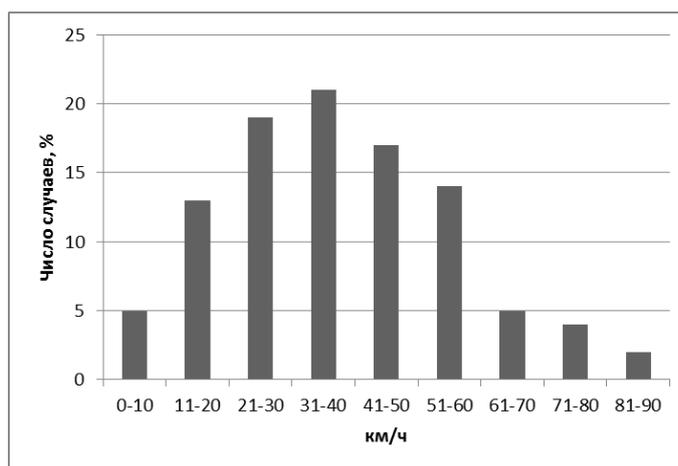


Рис. 6. Распределение скорости смещения облачных систем (V) при выпадении сильных осадков  
Fig. 6. Distribution of the cloud system speed (V) during heavy rain

## Выводы

В работе были получены гистограммы распределения, а также некоторые статистические характеристики облачных систем, с которыми связаны сильные дожди в Предуралье в 2016–2017 гг. Проведена классификация облачных систем в соответствии с горизонтальным масштабом, геометрическими параметрами и характером выпадения осадков. Результаты настоящего исследования позволяют сформулировать следующие основные выводы:

1. Абсолютное большинство случаев сильных дождей в Предуралье связано с развитием конвекции. В 39% случаев выпадение осадков носило ливневой характер, а в 53% случаев наблюдалось под влиянием прохождения МСО, представленных одновременно системами облаков С<sub>b</sub> и N<sub>s</sub>, в том числе при затопленной конвекции на фронтах.

2. Для случаев выпадения сильных дождей, связанных с образованием систем кучево-дождевых облаков и развитием конвекции, более распространенными являются СГК

## Метеорология

*Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.*

масштаба мезо-β. На масштабе мезо-α отмечено многократное превышение повторяемости линейной структуры СГК (ЛН) над осесимметричной структурой (МКК).

3. Установлено, что при выпадении сильных дождей повторяемость максимальной высоты радиоэха в МСО имеет выраженный максимум в градации 7,0–8,9 км при среднем значении равном 8,1 км. Выявлена зависимость увеличения значений  $H_{\max}$  при переходе от обложного к ливневому характеру выпадения осадков, а также при росте горизонтального масштаба СГК.

4. Выполненный анализ повторяемости наблюдаемых при выпадении сильных дождей метеоявлений позволяет утверждать, что в 31% случаев сильные дожди сопровождаются грозой с вероятностью более 30%, град и шквал различной интенсивности отличаются значительно реже – в 9% и 2% случаев соответственно. Выявлена тенденция к увеличению степени опасности метеоявлений при возрастании масштаба систем, с которыми связаны сильные дожди, выражающаяся в увеличении повторяемости гроз с различной вероятностью, а также града и шквалов, при переходе от масштаба мезо-β к мезо-α.

5. Установлены преобладающие направления смещения облачных систем, с которыми связаны сильные дожди: западно-юго-западное, юго-юго-западное, юго-западное и северо-западное. Максимум повторяемости скорости смещения отмечен в градации 31–40 км/ч при средней скорости, равной 39 км/ч.

Полученные результаты носят предварительный характер, позволяющий судить о степени полезности уточнения прогноза возникновения сильных дождей по данным метеорологических локаторов из открытых источников в режиме наукастинга.

**Благодарность.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект №17-45-590850 p\_a).

**Acknowledgements.** The research was financially supported by the RFBR (project no. 17-45-590850 p\_a).

**Библиографический список**

1. Абдуллаев С.М., Желнин А.А., Ленская О.Ю. Жизненный цикл мезомасштабных конвективных систем // Метеорология и гидрология. 2009. №5. С. 34–45.
2. Абдуллаев С.М., Ленская О.Ю. Эволюционная классификация мезомасштабных линий шквалов // Метеорология и гидрология. 1998. №3. С. 24–32.
3. Ананова Л.Г. Сезонное распределение радиолокационных характеристик облачности при шквалах на юго-востоке Западной Сибири // Географический вестник Пермского университета. 2011. №4(19). С. 43–48.
4. Ананова Л.Г., Горбатенко В.П., Луковская И.А. Особенности радиолокационных характеристик конвективной облачности при шквалах на юго-востоке Западной Сибири // Метеорология и гидрология. 2007. № 7. С. 51–56.
5. Вельтищев Н.Ф., Степаненко В.М. Мезометеорологические процессы. М.: Изд-во МГУ, 2006. 101 с.
6. Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. М.: Росгидромет, ФГБУ «ЦАО», 2014. 110 с.
7. Данов Е.И., Данова Т.Е. Интерпретация результатов радиолокационных наблюдений градовых облаков двухволновыми метеорологическими локаторами // Географический вестник Пермского университета. 2015. №2(33). С. 39–46.
8. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 711 с.
9. Инюхин В.С., Макитов В.С., Куцев С.А. Радиолокационные исследования формирования и развития градовых очагов в мощных конвективных облаках // Метеорология и гидрология. 2017. №7. С. 103–111.

## Метеорология

Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.

10. 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.
11. Калов Х.М., Калов Р.Х. Радиолокационные исследования грозоградовых облаков с использованием пассивных радиолокационных отражателей // Труды ВГИ. 2014. №99. С. 85–93.
12. Ленская О.Ю. Мезомасштабная организация и эволюция систем осадков на юге Бразилии: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2006, 22 с.
13. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. РД № 52.27.724-2009. М.: ФГБУ Гидрометцентр России, 2009. 66 с.
14. Павлюков Ю.Б., Серебрянник Н.И., Карнов Б.Н. Валидация радиолокационных наблюдений опасных явлений погоды на сети ДМРЛ по данным наземной наблюдательной сети Росгидромета // Труды МФТИ. 2016. №1. С. 95–101.
15. Поморцева А.А. Пространственная структура радиолокационной отражаемости кучево-дождевой облачности на Урале // Географический вестник Пермского университета. 2012. №4(23). С. 41–45.
16. Поморцева А.А., Калинин Н.А. Аналитический обзор современного состояния исследований шквалов: условия возникновения, методы диагноза и прогноза // Географический вестник Пермского университета. 2016. №3 (38). С. 90–104.
17. Русин И.Н., Тараканов Г.Г. Сверхкраткосрочные прогнозы погоды. СПб: Изд-во РГТМИ, 1996. 308 с.
18. Толмачева Н.И. Исследование влияния промышленных центров на развитие облачности и опасных явлений // Географический вестник Пермского университета. 2014. №3(30). С. 79–89.
19. Толмачева Н.И. Радиолокационное исследование развития облачности над мегаполисом // Географический вестник Пермского университета. 2012. №1(20). С. 81–89.
20. Толмачева Н.И., Ермакова Л.Н. Динамика развития градовой облачности в Пермском крае // Географический вестник Пермского университета. 2011. №4(19). С. 58–65.
21. Толмачева Н.И., Ермакова Л.Н. Исследование параметров облачности и явлений по данным спутникового и радиолокационного зондирования // Географический вестник Пермского университета. 2011. №3(18). С. 59–69.
22. Maddox R.A. Mesoscale Convective Complexes // Bull. Am. Meteorol. Soc. 1980. Vol. 61. P. 1374–1387.
23. Orlansky. I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes// Bull. Am. Meteorol. Soc. 1975. Vol. 56. P. 527–530.

## References

1. Abdullaev, S.M., Zhelnin, A.A. and Lenskaya, O.Yu. (2009), “Life cycle of mesoscale convective systems”, *Meteorologiya i Gidrologiya*, no. 5, pp. 34–45.
2. Abdullaev, S.M. and Lenskaya, O.Yu. (1998), “Evolutionary classification of mesoscale squall lines”, *Meteorologiya i Gidrologiya*, no. 3, pp. 24–32.
3. Ananova, L.G. (2011), “Seasonal distribution of radar characteristics of clouds with squalls in the south-east part of Western Syberia”, *Geographical Bulletin*, no. 4(19), pp. 43–48.
4. Ananova, L.G., Gorbatenko, V.P. and Lukovskaja, I.A. (2007), “Peculiarities of radar characteristics of convective clouds with squalls in the south-east part of Western Syberia”, *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 7, pp. 51–56.
5. Vel'tishhev, N.F and Stepanenko, V.M. (2006), *Mezometeorologicheskie processy* [Mesometeorological processes], MGU Publ., Moscow, Russia.
6. *Temporary methodical instructions on using Doppler weather radar DMRL-C data in synoptic practice* (2014), Moscow: Roshydromet, Russia.
7. Danov, E.I. and Danova, T.E. (2015), “Interpretation of the results of radar observations of hail clouds by two-wave weather radars”, *Geographical Bulletin*, no. 2(33), pp. 39–46.
8. Zverev, A.S. (1977), *Sinopticheskaja meteorologija* [Synoptic meteorology], Leningrad, Gidrometizdat, Russia.
9. Injuhin, V.S., Makitov, V.S. and Kushhev, S.A. (2017), “Radar studies of formation and development of hail areas in massive convective clouds”, *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 7, pp. 103–111.

## Метеорология

Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.

10. Kalinin, N.A. and Smirnova, A.A. (2005), "Study of radar characteristics for recognition of dangerous weather phenomena associated with cumulonimbus clouds", *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 1, pp. 84–95.
11. Kalov, H.M. and Kalov, R.H. (2014), "Radar studies of thunderstorm clouds using passive radar reflectors", *Trudy VGI*, no. 99, pp. 85–93.
12. Lenskaja, O.Yu. (2006), *Mezomasshtabnaja organizacija i jevoljucija sistem osadkov na juge Brazili* [Mesoscale organization and evolution of precipitation systems in southern Brazil], Moscow, Gidrometcentr Rossii, Russia.
13. *Manual on short-term weather forecasts of general purpose* (2009), RD No. 52.27.724-2009, Moscow, Gidrometcentr Rossii, Russia.
14. Pavljukov, Ju.B., Serebrjannik, N.I. and Karpov, B.N. (2016), "Validation of radar observations of dangerous weather phenomena on the DMRL network according to the ground observation network of Roshydromet", *Trudy MFTI*, no. 1, pp. 95–101.
15. Pomorceva, A.A. (2012), "Spatial structure of radar reflectivity of cumulonimbus clouds in the Urals", *Geographical Bulletin*, no. 4(23), pp. 41–45.
16. Pomortseva, A.A. and Kalinin, N.A. (2016), "Analytical review of the current status of studying squalls: formation conditions, methods of diagnosis and prognosis", *Geographical Bulletin*, no. 3(38), pp. 90–104.
17. Rusin, I.N. and Tarakanov, G.G. (1996), *Sverhkratkosrochnye prognozy pogody* [Extra-short term weather forecasting], Saint Petersburg, RGGMU Publ., Russia.
18. Tolmacheva, N.I. (2014), "A study on the impact of industrial centers on the development of clouds and dangerous weather phenomena", *Geographical Bulletin*, no. 3(30), pp. 79–89.
19. Tolmacheva, N.I. (2012), "Radar study of cloud development over the metropolis", *Geographical Bulletin*, no. 1(20), pp. 81–89.
20. Tolmacheva, N.I. and Ermakova, L.N. (2011), "Dynamics of development of hail clouds in the Perm region", *Geographical Bulletin*, no. 4(19), pp. 58–65.
21. Tolmacheva, N.I. and Ermakova, L.N. (2011), "Study of cloud parameters and phenomena based on satellite and radar remote sensing data", *Geographical Bulletin*, no. 3(18), pp. 59–69.
22. Maddox R.A. (1980), *Mesoscale Convective Complexes*. Bull. Am. Meteorol. Soc. Vol. 61, pp. 1374–1387.
23. Orlansky. I. (1975), *A rational subdivision of scales for atmospheric processes*. Bull. Am. Meteorol. Soc. Vol. 56, pp. 527–530.

Поступила в редакцию: 10.05.2020

**Сведения об авторах****Костарев Сергей Владимирович**

аспирант кафедры климатологии и мониторинга окружающей среды, Санкт-Петербургский государственный университет; 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7/9

e-mail: kostarevsergo@yandex.ru

**Ветров Андрей Леонидович**

доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614990, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: vetrov@psu.ru

**Сивков Богдан Алексеевич**

аспирант кафедры метеорологии и охраны атмосферы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; 614990, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: sivckovbogdan@yandex.ru

**About the authors****Sergey V. Kostarev**

Postgraduate Student, Department of Climatology and Environmental Monitoring, Saint Petersburg State University; 7/9, Universitetskaya naberezhnaya, St. Petersburg, 199034, Russia

**Andrey L. Vetrov**

Associate Professor, Department of Meteorology and Atmospheric Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

**Bogdan A. Sivkov**

Postgraduate Student, Department of Meteorology and Atmospheric Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

## Метеорология

Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А.

**Поморцева Анна Александровна**

доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы,  
Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, 614990, Россия,  
Пермь, ул. Букирева, 15

**Anna A. Pomorceva**

Associate Professor, Department of Meteorology and  
Atmospheric Protection, Perm State University; 15,  
Bukireva st., Perm, 614990, Russia

e-mail: smirnova@psu.ru

**Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:**

*Костарев С.В., Ветров А.Л., Сивков Б.А., Поморцева А.А.* Исследование радиолокационных характеристик облачных систем при выпадении сильных дождей // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. №3(54). С. 113–124. doi 10.17072/2079-7877-2020-3-113-124.

**Please cite this article in English as:**

*Kostarev S.V., Vetrov A.L., Sivkov B.A., Pomortseva A.A.* Radar characteristics of cloud systems during heavy rain events // Geographical bulletin. 2020. №3(54). P. 113–124. doi 10.17072/2079-7877-2020-3-113-124.

УДК 528.8

DOI: 10.17072/2079-7877-2020-3-124-134

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОГО ПОКРОВА СИСТЕМАМИ  
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ****Елена Викторовна Волкова**

Web of Science ResearcherID AAB-4690-2019

e-mail: quantocosa@bk.ru

*Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», Москва***Анжелика Андреевна Косторная**

SPIN код 9275-4228, Web of Science ResearcherID AAA-4044-2019

e-mail: kostornaya@rcpod.ru

*Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», Новосибирск***Руслана Александровна Амикишиева**

e-mail: ruslana215w@mail.ru

*Новосибирский государственный университет,**Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», Новосибирск*

Обсуждается сравнение результатов определения параметров облачного покрова, полученных по данным наблюдений с полярно-орбитальных метеоспутников (информация радиометров AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) с космического аппарата (КА) серии NOAA и МСУ-МР (многозональное сканирующее устройство малого разрешения) с КА Метеор-М №2) для европейской территории России и Западной Сибири двумя пороговыми методиками: комплексной пороговой методикой (КПМ) из европейского центра (ЕЦ) «НИЦ «Планета» и методикой дешифрирования облачного покрова (МДОП) из сибирского центра (СЦ) «НИЦ «Планета». Попиксельное сопоставление выходных продуктов разных методик проведено для близких сроков спутниковых наблюдений. Исследования авторов показали, что, несмотря на техническое сходство двух приборов и используемых методик дешифрирования и классификации, существует заметная разница в получаемых спутниковых оценках параметров облачного покрова. Так, качество классификации по данным МСУ-МР заметно (и примерно одинаково) уступает качеству оценок, выполненных разными методиками по данным AVHRR для обоих регионов: из-за частичной потери оптически тонкой перистообразной и высокослоистой облачности, по данным МСУ-МР, у многослойной облачности верхняя граница (ВГО) более теплая, низкая и менее кристаллическая, чем по данным AVHRR, независимо от

© Волкова Е.В., Косторная А.А., Амикишиева Р.А., 2020

