

УДК 551.5

*Е.В. Пицальникова, Е.В. Акилов***ВЛИЯНИЕ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОСАДКОВ ХОЛОДНОГО ПЕРИОДА НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ**

Представлены результаты анализа циркуляционных условий образования осадков за холодный период 2014–2017 гг. на Среднем Урале. Установлено, что в этот период в режиме атмосферной циркуляции преобладали барические поля антициклонического типа. Тем не менее под влиянием циклонической деятельности на Среднем Урале выпало 82 % осадков от общего количества. Рассмотрена повторяемость циклонических образований по траектории смещения и их эволюция. Установлено, что основная доля осадков от суммарного количества обусловлена передней и центральной частями северо-западных и западных циклонов на стадии максимального развития. Выполнена классификация осадков по генезису. На ее основании получено, что 48 % осадков от общего количества относятся к смешанному типу и в основном формируются под влиянием центральной части циклона. Кроме этого, показано орографическое влияние на распределение осредненной интенсивности осадков: в Предуралье их величина составляет 0,8 мм/12 ч, в то время как в Зауралье данное значение меньше на 33 % и равняется 0,6 мм/12 ч.

*Ключевые слова:* атмосферная циркуляция, циклон, количество осадков, генезис осадков, холодный период, Урал.

Выпадение атмосферных осадков связано с большим количеством факторов. Влияние этих факторов над разными территориями бывает не одинаковым, чем объясняется довольно сложное пространственное распределение осадков. В работе [1] подробно рассмотрены осадки холодного периода на территории России. Атмосферная циркуляция является одним из наиболее значимых факторов осадкообразования. Вопросам режима атмосферной циркуляции посвящены исследования многих как российских, так и зарубежных ученых. В работах [2–9] представлены результаты изучения средних многолетних характеристик общей циркуляции атмосферы и их сезонные особенности. Анализ режимов атмосферной циркуляции над территорией Урала посвящены работы [10–13], в которых описана сезонная активность атмосферных процессов и установлена повышенная повторяемость циклонов по сравнению с антициклонами в течение всего года. В монографии [14] изложены основные факторы осадкообразования обильных снегопадов, проведена типизация атмосферных процессов с помощью системы индексов А.Л. Каца, изучены траектории смещения циклонов и их эволюция при выпадении очень сильных снегопадов в Пермском крае. Особенности пространственного распределения облачности и осадков по территории Пермского края представлены в работах [15; 16].

В настоящей работе представлены результаты анализа циркуляционных условий формирования осадков над Средним Уралом за холодный период 2014–2017 гг. Рассматривается территория двух субъектов РФ (Пермский край и Свердловская область), на которой расположены 63 метеорологические станции. Высоты их местоположения составляют 95,6–462,8 м над уровнем моря. Для обработки и анализа синоптических карт использовался программный комплекс ГИС Океан [17]. При проведении исследования использовался комплекс методов: синоптико-статистический, растровой алгебры в ГИС, геоинформационное картографирование, фронтологический анализ.

**Материалы и методы исследования**

Анализ карт погоды с октября по март 2014–2017 гг. позволил выявить, что в режиме атмосферной циркуляции над территорией Среднего Урала преобладают антициклонические барические поля (табл. 1). Их средняя повторяемость составляет 51 %. Малоградиентные барические поля (горизонтальный барический градиент составляет 1 гПа и менее на 100 км) в холодное полугодие представлены в основном седловинами и отмечаются редко, их повторяемость не превышает 7 %.

Распределение типов барического поля по месяцам имеет следующие особенности:

- повышенная повторяемость циклонов по сравнению с антициклонами отмечается в декабре;
- преобладание антициклонов отмечено в январе, ноябре, марте и октябре;
- отсутствие малоградиентных полей наблюдается в марте (табл. 2).

Таблица 1

**Повторяемость типов барических полей над Средним Уралом по годам, %**

Холодный период	Тип барического поля		
	Антициклонический	Циклонический	Малоградиентный
2014–2015г.	51	42	7
2015–2016г.	50	43	7
2016–2017г.	53	41	6
Среднее	51	42	7

Таблица 2

**Повторяемость типов барических полей над Средним Уралом по месяцам, %**

Месяц	Тип барического поля		
	Антициклонический	Циклонический	Малоградиентный
Октябрь	51	41	8
Ноябрь	61	35	4
Декабрь	27	69	4
Январь	64	28	8
Февраль	49	44	7
Март	56	44	0

Осадки, выпавшие на территории Среднего Урала за холодный период 2014–2017 гг., сформировались преимущественно под влиянием барических полей циклонического типа. Их доля составляет 64 %. Наименьшая частота выпадения осадков составляет 3 % и отмечается, когда на исследуемой территории наблюдается малоградиентное барическое поле.

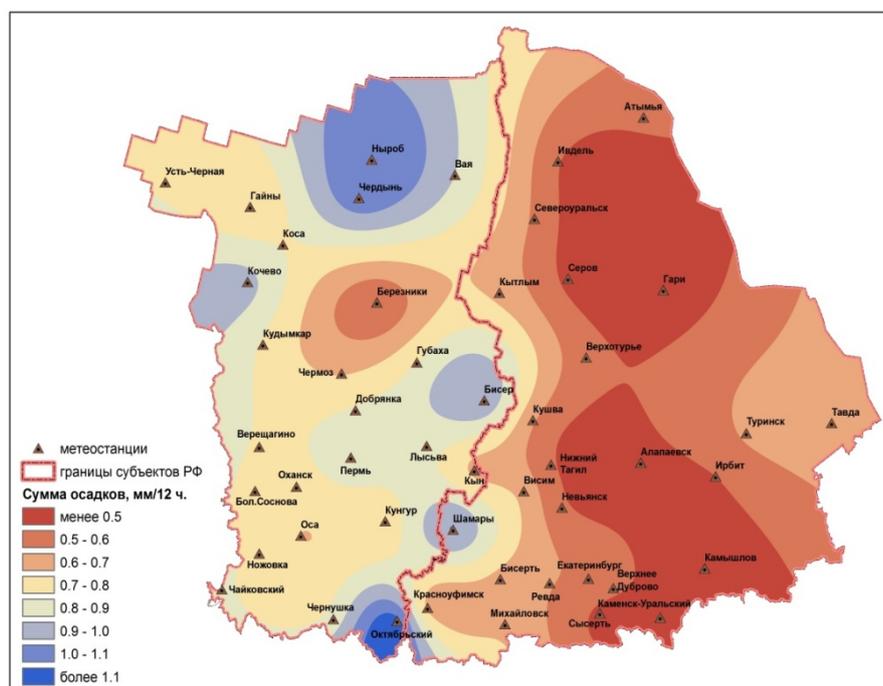


Рис. 1. Распределение осадков на Среднем Урале, осредненных за холодный период 2014–2017 гг.

Особенностью распределения осадков холодного периода на Среднем Урале является их пространственная неоднородность, что обусловлено главным образом влиянием орографии. Горы Среднего Урала имеют малую высоту в горной цепи, но оказывают значимый задерживающий эффект на воздушные массы, что приводит к более обильному, вынужденному осадкообразованию в Предуралье. Влияние Уральских гор на распределение интенсивности осадков наглядно отражено на рис. 1.

Так, осадки в Предуралье выпадают с большей интенсивностью, чем в Зауралье. Для равнинной части территории Пермского края осредненная величина осадков составляет 0,6-0,9 мм/12 ч. В предгорной части можно выделить две зоны осадков с максимальной интенсивностью 1,0-1,1 мм/12 ч, расположенными на юго-востоке (МС Октябрьский) и на северо-востоке Пермского края (МС Ныроб и Чердынь). На восточной половине Среднего Урала (в Свердловской области) формируется меньше осадков, как по факту наличия явления, так и по количеству, а суммарное количество осадков, выпавших за 12 ч, изменяется от 0,5 до 0,7 мм.

За период исследования на территорию Среднего Урала оказывали влияние в основном циклонические образования северо-западного (67 %) и западного (27 %) типа. Частота северных, южных, юго-западных и северо-восточных циклонов суммарно не превышает 9 % (табл. 3). Циклоны, смещающиеся с северной и северо-восточной траекторией, для Предуралья не характерны.

Таблица 3

### Повторяемость типов циклонов по траектории перемещения, %

Территория	Тип циклона по направлению перемещения					
	Северные	Северо-западные	Западные	Юго-западные	Южные	Северо-восточные
Предуралье	–	67	29	2	2	–
Зауралье	5	68	23	1	2	1
Средний Урал	5	67	27	1	2	1

Заметим, что северо-западные и западные циклоны имеют не только наибольшую повторяемость, но и вносят наибольший вклад в общую сумму осадков (13 % от общего количества). В Предуралье максимальная интенсивность осадков связана с северо-западными циклонами (1,7 мм/12 ч), в Зауралье – с западными (1,6 мм/12 ч) (рис. 2 А).

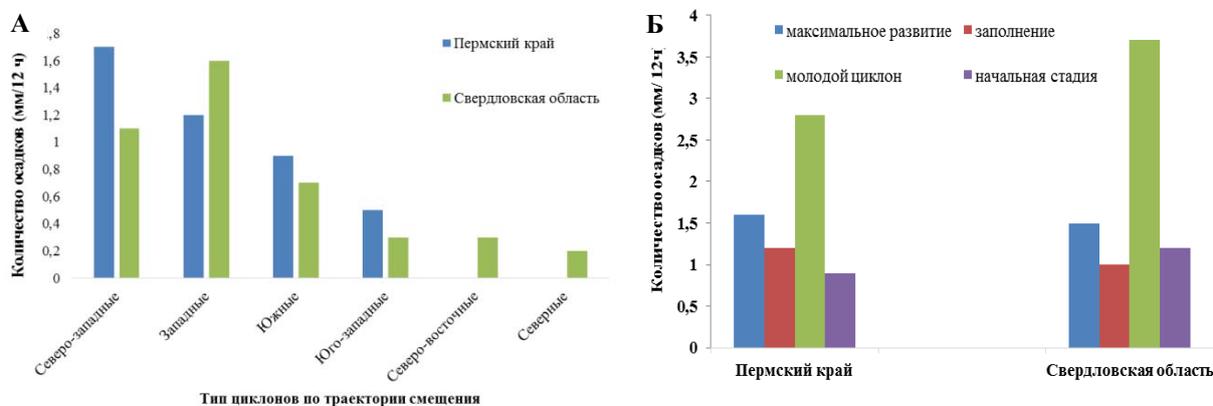


Рис. 2. Распределение осредненного количества осадков за холодный период 2014-2017 гг. на Среднем Урале: А – в зависимости от типа циклона, Б – в зависимости от эволюции циклона

Большинство барических образований достигают территории исследования, находясь на стадии максимального развития (65 %), что обусловлено удаленностью рассматриваемого региона от центров действия атмосферы и его положением в глубине континента. Реже всего на Средний Урал оказывают влияние циклоны, находящиеся на начальной стадии развития – 2 % (табл. 4). Такие циклоны, как правило, формируются как волновое возмущение на холодном фронте полярной системы над Средним Поволжьем, смещаясь по ведущему потоку, быстро преодолевают Уральский регион (за 12–24 ч).

Рассмотрим зависимость количества выпадающих осадков от эволюции циклона. Минимальные количественные значения осадков в Пермском крае были связаны с циклонами, находящимися на начальной стадии развития, а в Свердловской области – на стадии заполнения. Под влиянием молодого циклонического образования отмечается наибольшее осредненное количество осадков и составляет 2,8 и 3,7 мм/12 ч для Предуралья и Зауралья соответственно (рис. 2 Б).

Таблица 4

## Повторяемость циклонов по стадиям развития, %

Территория	Стадия развития			
	Начальная	Молодой циклон	Максимального развития	Заполнение
Предуралье	2	14	69	15
Зауралье	2	17	61	20
Средний Урал	2	16	65	17

Условия образования осадков над определенной территорией зависят не только от типа циклона, но и от его части. Так, под влиянием передней части циклонов в Пермском крае образовалось 26% осадков от общего количества, причем большая часть из них сформировалась под влиянием западных и северо-западных циклонов. Под влиянием тыловой и северной частей циклона образуются осадки с меньшим количеством, их доля составляет по 10 % от общего количества. На территории Свердловской области на формирование осадков наибольшее влияние оказывает центральная часть циклона, что связано с орографическим углублением циклона после его сегментации при переваливании через Уральские горы (29 %). С повторяемостью не более 6 % формирование осадков происходит в теплом секторе и тыловой части циклона (рис. 3).



Рис. 3. Распределение осредненного количества осадков за холодный период 2014–2017 гг. на Среднем Урале в зависимости от части барического образования

Согласно синоптической классификации, осадки по природе своего происхождения принято делить на внутримассовые и фронтальные. К фронтальным осадкам относятся случаи, когда их образование происходило под влиянием теплого и холодного фронта, а также фронта окклюзии. К внутримассовым осадкам относятся случаи, когда их формирование происходило в теплом секторе, тыловой части циклона или при малоградиентном барическом поле при отсутствии фронтального раздела в нем. Кроме того, при полусуточном измерении осадков можно выделить осадки смешанного происхождения. Они образуются при разных сочетаниях синоптических ситуаций, создающихся в результате смещения циклона и связанной с ним фронтальной системой.

### Фронтальные осадки

В соответствии с термодинамической классификацией воздушных масс и в зависимости от направления перемещения все атмосферные фронты делятся на теплые, холодные и нейтральные, возникающие в результате окклюдирования.

За исследуемый период анализ синоптических ситуаций на Среднем Урале показал, что суммарное количество фронтальных осадков составляет 35 % от общего значения, причем под влиянием теплого фронта формируется 33 % осадков. Теплый фронт, в основном полярной системы, обуславливает выпадение осадков на территории Пермского края со средней интенсивностью 1,6 мм/ 12 ч, на территории Свердловской области – 1,3 мм/ 12 ч (рис. 4 А). Формирование осадков под влиянием холодного фронта отличается наименьшей интенсивностью: в Пермском крае это значение составляет 0,9 мм/ 12 ч, в Свердловской области – 0,4 мм/ 12 ч.

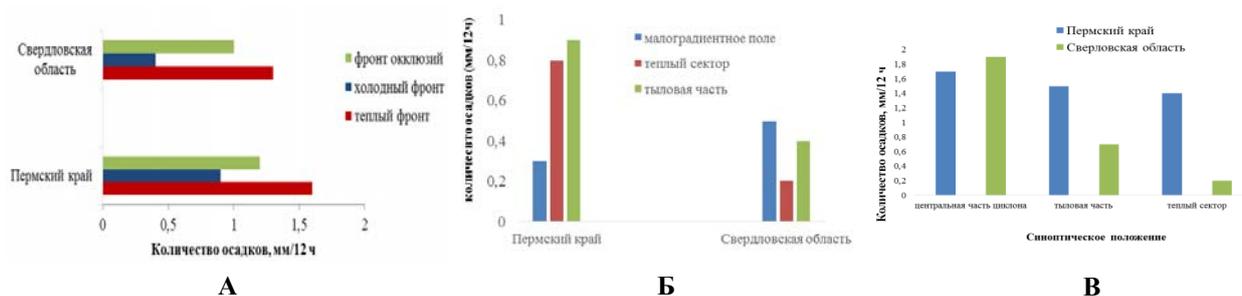


Рис. 4. Распределение интенсивности осадков разного происхождения за холодные периоды 2014–2017 гг. на Среднем Урале: А – фронтальные, Б – внутримассовые, В – смешанные

Вне зависимости от типа фронта величина осадков в Пермском крае больше, чем в Свердловской области, что весьма закономерно, так как в Предуралье наблюдается прижатие фронтального раздела к горам в процессе его перемещения на восток, в результате чего выпадают осадки с большей интенсивностью. Облачная система фронтального раздела восстанавливается на некотором удалении от горного хребта, поэтому и интенсивность осадков в Зауралье меньше.

#### ***Внутримассовые осадки***

Формирование внутримассовых осадков в холодный период 2014–2017 гг. на Среднем Урале имеет следующие особенности:

- количество осадков внутримассового происхождения вносит наименьший вклад в общую сумму осадков и составляет 17% от общего значения;
- в Пермском крае максимальная величина внутримассовых осадков выпадает под влиянием тыловой части циклона (0,9 мм/12 ч), минимальная – при малоградиентных полях (0,3 мм/12 ч);
- в Свердловской области наибольшая интенсивность внутримассовых осадков отмечается при малоградиентных барических полях (0,5 мм/12 ч), а наименьшая – в теплом секторе (0,2 мм/12 ч) (рис. 4 Б).

#### ***Осадки смешанного происхождения***

На территории Среднего Урала за холодный период 2014–2017 гг. 48 % осадков от общего количества относятся к смешанному типу и в основном формируются под влиянием центральной части циклона. В Зауралье среднее количество осадков, выпавшее при данной синоптической ситуации, составляет 1,9 мм/12 ч, в Предуралье их величина несколько меньше и составляет 1,7 мм/12 ч (рис. 4 В), что обусловлено орографическим влиянием. Отметим, что интенсивность осадков, сформировавшаяся под влиянием теплого сектора и тыловой части циклона, на территории Пермского края (1,4 и 1,5 мм/12 ч соответственно) значительно больше, чем в Свердловской области (0,2 и 0,7 мм/12 ч соответственно), что обусловлено орографическими и циркуляционными особенностями.

#### **Выводы**

Режим атмосферной циркуляции за холодный период 2014–2017 гг. над Средним Уралом был не типичным: преобладали барические поля антициклонического типа. Тем не менее при циклоническом барическом поле на Среднем Урале выпало 82 % осадков от общего количества. При этом основной вклад в формирование осадков вносили северо-западные и западные циклоны, в основном находящиеся на стадии максимального развития и оказывающие влияние передней и центральной частями.

На основании синоптической классификации на территории Среднего Урала за холодный период 2014–2017 гг. 48 % осадков от общего количества относятся к смешанному типу, 35 % – к фронтальному, 17 % – внутримассовому.

Физико-географическое положение Среднего Урала определяют значительные количественные различия в интенсивности осадков: прослеживается задерживающий эффект Уральских гор. Так, средненная величина выпадающих осадков за холодный период 2014–2017 гг. в Предуралье составляет 0,8 мм/12 ч, в то время как в Зауралье данное значение меньше на 33 % и составляет 0,6 мм/12 ч.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борзенкова А.В., Шмакин А.Б. Изменения толщины снежного покрова и суточной интенсивности снегопадов, влияющие на расходы по уборке магистралей в Российских городах // Лед и снег. 2012. № 2 (118). С. 59-70.
2. Заболотских Е.В., Бобылев Л.П., Дикинис А.В., Неелова Л.О., Смирнова Ю.Е. Особенности формирования и классификация штормовых мезомасштабных вихрей // Учен. зап. Рос. гос. гидрометеоролог. ун-та (РГГМУ). СПб.: Изд-во РГГМУ. 2010. № 16. С. 59-77.
3. Калинин Н.А. Мониторинг, моделирование и прогноз состояния атмосферы в умеренных широтах. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. 308 с.
4. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. Л.: Гидрометеоздат. 1991. С. 63-108.
5. Матвеев Л.Т. Вихревые движения синоптического масштаба в атмосфере и в океане // Изв. РАН. Сер. географическая. 2002. № 4. С. 39-44.
6. Морозова С.В. Исследование синоптических процессов методом эталонов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. 2013. 164 с.
7. Пальмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. Л.: Гидрометеоздат. 1973. 615 с.
8. Погосян Х.П. Циклоны. М.: Гидрометеоздат. 1976. 148 с.
9. Houghton J. The physics of atmospheres. Cambridge University Press. 2002. 320 p.
10. Аликина И.Я. Циркуляционные условия на Среднем и Южном Урале // Гидрология и метеорология. Пермь, 1971. Вып.6. С.115–122.
11. Куликова С.Х. Влияние циркуляции атмосферы на снежный покров на Среднем и Южном Урале // Гидрология и метеорология. Пермь, 1974. Вып. VII. С.139–151.
12. Успен А.А., Успина Ф.Ф. Климат и опасные явления погоды на Урале. Екатеринбург: Банк культурной информации. 2004. 112 с.
13. Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Климатические ресурсы Уральского Прикамья // Географический вестник. Перм. гос. ун-т. 2006. № 2. С. 76-90.
14. Пищальникова Е.В., Калинин Н.А. Условия формирования и прогноз обильных снегопадов в Пермском крае. Перм. гос. ун-т. Пермь. 2016. 168 с.
15. Калинин Н.А., Фрик Л.В., Смирнова А.А. Исследование влияния рельефа Пермского края на распределение полей осадков. Географический вестник. Вып. 2. Перм. ун-т. Пермь. 2008. С. 187-195.
16. Калинин Н.А., Поморцева А.А. Влияние орографии на поля облаков и осадков в Пермском крае // Уч. зап. Российского гос. гидрометеоролог. ун-та. 2014. № 37. С. 84-93.
17. Программный комплекс геоинформационная система «ОКЕАН» URL: <http://gis8826.ru> (дата обращения: 23.08.2018).

Поступила в редакцию 15.10.18

Пищальникова Евгения Владимировна, кандидат географических наук, синоптик,  
доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы  
Пермский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал ФГБУ «Уральское  
УГМС»

614030, Россия, г. Пермь, ул. Новогайвинская, 70  
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»  
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
E-mail: [evaropova@rambler.ru](mailto:evaropova@rambler.ru)

Акилов Евгений Вячеславович, студент 4 курса кафедры метеорологии и охраны атмосферы  
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»  
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
E-mail: [akilov.evg@yandex.ru](mailto:akilov.evg@yandex.ru)

*E.V. Pischalnikova, E.V. Akilov*

**THE INFLUENCE OF CYCLONIC ACTIVITY ON THE FORMATION OF PRECIPITATION  
OF THE COLD PERIOD IN THE URALS**

This paper presents the results of an analysis of the circulation conditions for the formation of precipitation for the cold periods of 2014–2017 in the Middle Urals. It was established that in this period, the pressure fields of anticyclone type dominated in the mode of atmospheric circulation. However, 82% of the total precipitation in the Middle Urals fell under the influence of cyclonic activity. The frequency of trajectory of cyclonic shifts and their evolution are considered.

It was established that the main share of the total precipitation is due to the front and central parts of the northwestern and western cyclones at the stage of maximum development. The classification of precipitations by genesis was carried out. According to it, it was obtained that 48% of the total precipitation is of mixed type and is mainly formed under the influence of the central part of the cyclone. In addition, the orographic effect on the distribution of the averaged intensity of precipitation is shown: their value is 0.8 mm/ 12 h in the Pre-Urals, while this value is 33% less and equals 0.6 mm/ 12 h in the Trans-Urals.

*Keywords:* atmospheric circulation, cyclone, amount of precipitation, precipitation genesis, cold period, Urals.

#### REFERENCES

1. Borzenkova A.V., Shmakina A.B. [Changes in the thickness of snow cover and the daily intensity of snowfall, affecting the cost of cleaning roads in Russian cities] in *Led i sneg*, 2012, no. 2 (118), pp. 59–70 (in Russ.).
2. Zabolotskikh E.V., Bobylev L.P., Dikinis A.V., Neelova L.O., Smirnova Yu.E. [Features of the formation and classification of mesoscale storm eddies] in *Uchen. zap. Ros. gos. gidrometeorolog. un-ta (RGGMU)*, 2010, no. 16, pp. 59–77 (in Russ.).
3. Kalinin N.A. *Monitoring, modelirovaniye i prognoz sostoyaniya atmosfery v umerennykh shirotakh* [Monitoring, modeling and forecasting of the state of the atmosphere in temperate latitudes], Perm: Perm. gos. nats. issled. un-t., 2015, 308 p. (in Russ.).
4. Matveyev L.T. *Teoriya obshchey tsirkulyatsii atmosfery i klimata Zemli* [The theory of the general circulation of the atmosphere and climate of the Earth], L.: Hydrometeoizdat, 1991, pp. 63–108 (in Russ.).
5. Matveyev L.T. [Vortex movements of synoptic scale in the atmosphere and in the ocean] in *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2002, no. 4, pp. 39–44 (in Russ.).
6. Morozova S.V. *Issledovaniye sinopticheskikh protsessov metodom etalonov* [The study of synoptic processes by the method of standards], Saratov: Izd-vo Sarat. un-ta, 2013, 164 p. (in Russ.).
7. Palmén E., Newton Ch. *Tsirkulyatsionnyye sistemy atmosfery* [Atmospheric circulation systems], L.: Hydrometeoizdat, 1973, 615 p. (in Russ.).
8. Poghosyan H.P. *Tsiklony* [Cyclones], M.: Gidrometeoizdat, 1976, 148 p. (in Russ.).
9. Houghton J. *The physics of atmospheres*. Cambridge University Press, 2002, 320 p.
10. Alikina I.Ya. [Circulating conditions in the Middle and South Urals] in *Gidrologiya i meteorologiya*, 1971, vol. 6, pp. 115–122 (in Russ.).
11. Kulikova S.Kh. [Influence of atmospheric circulation on snow cover in the Middle and Southern Urals] in *Gidrologiya i meteorologiya*, 1974, vol. VII, pp. 139–151 (in Russ.).
12. Uspin A.A., Uspina F.F. *Klimat i opasnyye yavleniya pogody na Urale* [Climate and dangerous weather phenomena in the Urals], Ekaterinburg: Bank of cultural information, 2004, 112 p. (in Russ.).
13. Shklyayev V.A., Shklyayeva L.S. [Climatic resources of the Ural Prikamye] in *Geograficheskii vestnik*, 2006, no. 2, pp. 76–90 (in Russ.).
14. Pishchalnikova E.V., Kalinin N.A. *Usloviya formirovaniya i prognoz obil'nykh snegopadov v Permskom kraye* [Formation conditions and forecast of heavy snowfall in the Perm region], Perm: Perm. state un-t., 2016, p. 168 (in Russ.).
15. Kalinin N.A., Frik L.V., Smirnova A.A. [Study of the influence of the relief of the Perm region on the distribution of precipitation fields] in *Geograficheskii vestnik*, 2008, no. 2, pp. 187–195 (in Russ.).
16. Kalinin N.A., Pomortseva A.A. [The influence of orography on the fields of clouds and precipitation in the Perm region] in *Uchen. zap. Ros. gos. gidrometeorolog. un-ta (RGGMU)*, 2014, no. 37, pp. 84–93 (in Russ.).
17. *Programmnyy kompleks geoinformatsionnaya sistema «OKEAN»* [Software complex geographic information system "OCEAN"], Available at: <http://gis8826.ru> (accessed: 23.08.2018) (in Russ.).

Received 15.10.2018

Pishchalnikova E.V., Candidate of Geography, weather forecaster, Associate Professor at Department of Meteorology and Air Protection  
Perm Center for Hydrometeorology and Environment Monitoring  
Novogayvinskaya st., 70, Perm, Russia, 614030  
Perm State University  
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990  
E-mail: [evapopova@rambler.ru](mailto:evapopova@rambler.ru)

Akilov E.V., Student at Department of Meteorology and Atmosphere Protection  
Perm State University  
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990  
E-mail: [akilov.evg@yandex.ru](mailto:akilov.evg@yandex.ru)