

УДК 501.509.5

*Е.С. Сергеева, Н.А. Калинин***ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ВЫПАДЕНИЯ ОЧЕНЬ СИЛЬНЫХ ДОЖДЕЙ  
В ПЕРМСКОМ КРАЕ С ПОМОЩЬЮ ИНДЕКСОВ НЕУСТОЙЧИВОСТИ АТМОСФЕРЫ**

В настоящее время в связи с низкой плотностью наблюдательной сети, недостаточной для качественного и своевременного обеспечения всех заинтересованных пользователей необходимой информацией, возрос интерес к альтернативным методам анализа и прогноза опасных метеорологических явлений. В ходе работы был проведен общий анализ характеристик осадков за период с 2004 по 2016 г., определены наиболее благоприятные синоптические условия для выпадения очень сильных дождей, обнаружена зависимость их повторяемости от высоты над уровнем моря. Целью данного исследования является характеристика условий выпадения очень сильных дождей на территории Пермского края с помощью физико-статистических индексов неустойчивости атмосферы, рассчитанных для конкретных случаев данного явления. Для этого были выбраны 5 индексов (*LI*, *VT*, *CN*, *TT*, *K*), и по данным реанализа рассчитаны их значения в сроки выпадения очень сильных дождей. Было обнаружено, что средние значения индексов, полученные при расчете, несколько ниже, чем значения, приводимые в ранее опубликованных работах, посвященных данной теме и рассчитанных для других регионов, что свидетельствует о необходимости установления собственных критериев индексов для Пермского края. За критические значения, при которых стоит ожидать развития конвекции и выпадения сильных дождей на территории Пермского края были приняты такие значения, при которых выпало не менее 90 % от общего числа случаев исследуемого опасного метеорологического явления. Для использования индексов неустойчивости атмосферы с целью анализа и прогноза очень сильных дождей на практике следует провести расчеты по большей выборке.

*Ключевые слова:* опасные метеорологические явления, очень сильный дождь, параметры неустойчивости, Пермский край, конвекция, реанализ.

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-2-207-214

Получение объективных данных о современных изменениях повторяемости и интенсивности опасных явлений погоды представляет собой достаточно сложную задачу. Сокращение наблюдательной сети привело к увеличению числа пропусков метеостанциями опасных метеорологических явлений (ОЯ), которые фиксируются альтернативными способами благодаря развитию современных технологий [1]. Обнаружение ОЯ осуществляется по результатам анализа данных космической съемки, путем видеофиксации опасного явления или его последствий очевидцами. Таким образом, формируется несколько разнородных массивов данных, которые часто не сопоставимы друг с другом, что сильно затрудняет анализ климатических характеристик опасных метеорологических явлений в России. Наряду с другими методами, для описания состояния атмосферы используют физико-статистические параметры неустойчивости [2].

Целью данной работы является определение значений критериев индексов неустойчивости при очень сильном дожде для территории Пермского края с последующей возможностью их использования для анализа и прогноза данного опасного метеорологического явления.

**Материалы и методы исследований**

Климат Пермского края формируется в основном под влиянием западно-восточного переноса воздушных масс [3]. Большое влияние на него оказывают Уральские горы, которые, несмотря на их небольшую высоту, вносят заметные изменения в поля температуры и осадков [4]. Вблизи гор (на востоке, северо-востоке края) среднегодовая температура воздуха ниже [5], а среднемесячная сумма осадков больше, чем в целом по краю [6].

Для летнего периода характерны опасные погодные явления, связанные с конвективной неустойчивостью – грозы, сильные ливни, очень сильные дожди, шквалы и град. В подавляющем большинстве случаев эти ОЯ формируются под влиянием мезомасштабных конвективных систем [7]. Именно по этим причинам для анализа случаев выпадения очень сильных дождей были выбраны летние месяцы.

Из базы данных ОЯ Пермского края [8], описанной в работе А.Н. Шихова, А.В. Быкова «База данных об опасных и неблагоприятных явлениях погоды в Пермском крае как региональный аналог

ESWD» [9], с 2004 по 2016 г. были получены данные о 143 случаях очень сильного дождя на 43 метеорологических станциях и постах. Одновременно с очень сильным дождем часто наблюдались и другие опасные метеорологические явления, такие, как грозы, град, шквалы (средняя скорость 18 м/с).

В данной работе для количественной характеристики конвективных процессов были использованы индексы неустойчивости атмосферы, рассчитанные по данным реанализа, которые были получены через Национальную систему архивирования и распространения оперативных моделей [10]. На сайте размещены выходные данные глобальной прогностической модели GFS, разработанной Национальным центром прогнозирования состояния окружающей среды NCEP. Информация о системе архивирования и распространения оперативных моделей, а также ссылки на нее и другие информационные ресурсы размещены на сайте «Опасные природные явления Пермского края» [11].

Для работы с данными формата .grb была выбрана программа ZyGrib. Это бесплатное программное обеспечение для загрузки и визуализации метеорологических данных из файлов в формате GRIB. Данная программа позволяет производить автоматическую загрузку прогнозов погоды и волнения моря с нанесением многих параметров: ветра, давления, температуры, влажности, дождей, снега, облачности, точек росы, высотных данных и др.

Для анализа случаев выпадения очень сильного дождя были выбраны 5 индексов неустойчивости, среди которых выделим простые индексы, основанные на данных о температуре воздуха ( $LI$ ,  $VT$ ) и индексы, основанные на данных о температуре и влажности ( $CN$ ,  $TT$ ,  $K$ ) [12].

#### **Параметры, основанные на данных о температуре воздуха.**

Lifted Index (индекс плавучести,  $LI$ ) является одним из основных индексов, характеризующих устойчивость атмосферы, и определяется по формуле:

$$LI = T_{500} - T_{p,500}, \quad (1)$$

Где  $T_{500}$  – значение температуры на изобарической поверхности 500 гПа, °С;  $T_{p,500}$  – значение температуры частицы воздуха единичного объема, поднявшейся до изобарической поверхности 500 гПа, °С.

При значениях индекса  $-6^{\circ}\text{C}$  и ниже стоит ожидать развития конвективных ОЯ.

В данной работе индекс плавучести был рассчитан с помощью аэрологической диаграммы в программе ZyGrib, построенной по координатам метеорологических станций, на которых отмечались ОЯ.

Vertical totals Index ( $VT$ ) определяется как вертикальный контраст температуры между изобарическими поверхностями 500 и 850 гПа, °С. Рассчитывается по формуле (2) и характеризует вероятность появления грозы и шторма, которые нередко сопровождаются дождями. Чем больше градиент температуры, тем выше вероятность ОЯ.

$$VT = T_{850} - T_{500}, \quad (2)$$

где  $T_{850}$  – температура воздуха на изобарической поверхности 850 гПа, °С.

Критическое значение  $VT$ , при котором стоит ожидать развитие гроз  $VT_{крит} = 26^{\circ}\text{C}$ .

#### **Параметры, основанные на температурно-влажностных характеристиках атмосферы.**

Конвективные процессы не могут развиваться без достаточной влажности, даже при сильном градиенте температуры воздуха. Cross Totals Index ( $CN$ ) определяется как разность между температурой точки росы на изобарической поверхности 850 гПа и температурой воздуха на изобарической поверхности 500 гПа и рассчитывается по формуле:

$$CN = T_{d,850} - T_{500}, \quad (3)$$

где  $T_{d,850}$  – температура точки росы на изобарической поверхности 850 гПа, °С.

Вероятность гроз повышается при  $CN > 20^{\circ}\text{C}$ , ливней и очень сильных дождей при  $CN > 29^{\circ}\text{C}$ .

Total Totals Index ( $TT$ ) – индекс для прогноза наличия потенциала для развития конвекции. Он рассчитывается по следующей формуле:

$$TT = T_{850} + T_{d,850} - 2T_{500}. \quad (4)$$

При  $50^{\circ}\text{C} > TT \geq 44^{\circ}\text{C}$  – вероятность грозы небольшая; при  $55^{\circ}\text{C} > TT \geq 50^{\circ}\text{C}$  – вероятность грозы средняя; при  $TT \geq 55^{\circ}\text{C}$  – ожидается высокая вероятность грозы.

K-Index (индекс Вайтинга,  $K$ ), как и индекс  $VT$ , основан на контрасте температуры между изобарическими поверхностями 850 и 500 гПа и рассчитывается по следующей формуле

$$K = T_{850} - T_{500} + T_{d,850} - DD_{700}, \quad (5)$$

где  $DD_{700}$  – дефицит точки росы на изобарической поверхности 700 гПа, °С.

Вероятность развития конвективных ОЯ растет с увеличением значений данного индекса, в частности, при  $K \geq 40^\circ\text{СОЯ}$  развиваются практически в 100 % случаев.

В базе данных [6] указаны даты и продолжительность ОЯ, но нет точного времени их начала и конца, следовательно, необходимо было рассчитать индексы неустойчивости за все доступные сроки (0, 6, 12 и 18 всемирного согласованного времени (VCB)) и по их значениям выбрать срок с наиболее благоприятным их сочетанием, предполагая, что во время выпадения сильных осадков большинство индексов близки к их критическим значениям.

## Результаты и их обсуждение

Осадки являются самыми изменчивыми в пространстве и времени метеовеличинами. Количество осадков зависит от таких факторов, как рельеф, характер подстилающей поверхности, наличие водоемов и т. д. [1;4].

По данным ежемесячников и ежегодников ЦГМС, дополненным данными с портала «Погода и климат» [13] был проведен общий анализ характеристик осадков за исследуемый период.

На рис. 1 представлено изменение среднего количества осадков по месяцам и в целом за летний период. Прослеживается тенденция на небольшое увеличение среднего количества осадков, которая наиболее выражена в июле. В июне, напротив, среднее количество осадков с 2009 по 2016 г. уменьшилось по сравнению с 2004–2006 гг.

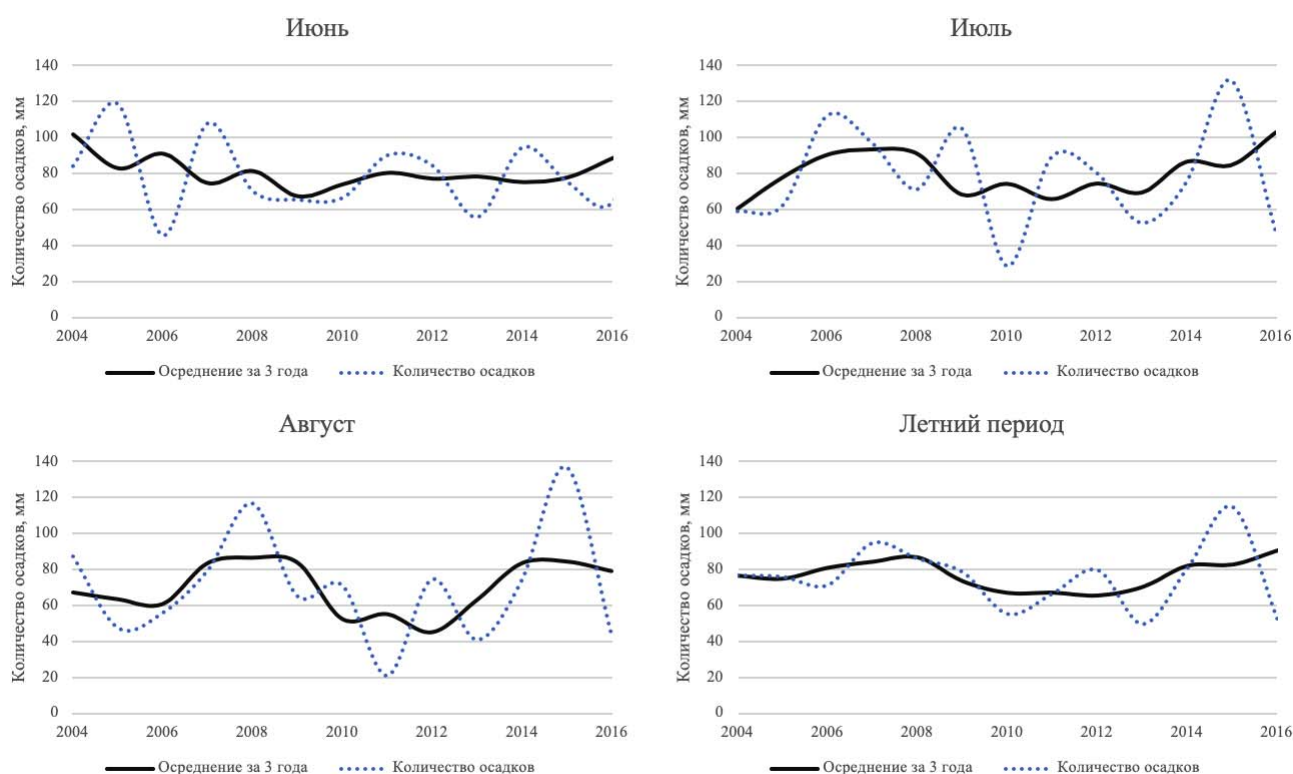


Рис. 1. Изменения среднего количества осадков в Пермском крае в летний период

Анализ синоптических карт в дни очень сильного дождя показал, что интенсивные осадки в 95 % всех случаев формировались под влиянием циклонической деятельности и в 5 % случаев в антициклональном или малоградиентном барических полях. Это ожидаемый результат, так как при антициклонической деятельности мощные кучево-дождевые облака, способные давать обильные осадки, формироваться не могут.

Характерная синоптическая ситуация, при которой выпадают очень сильные дожди, связана с холодным фронтом или фронтом окклюзии.

Продолжительность и интенсивность являются основными характеристиками осадков. За исследуемый период продолжительность дождя в среднем составила 11-12 часов (колебалась от 2 до 24 часов). В перечне и критериях опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) по территории деятельности ФГБУ «Уральское УГМС» [14] указаны критерии, при достижении которых явление может считаться опасным. При очень сильном дожде количество осадков, выпавших за 12 часов, должно быть не менее 50 мм, для метеостанций, расположенных в ливнеопасных районах – не менее 30 мм. Для увеличения объема выборки рассматривались случаи с осадками от 30 мм за период времени не более 12 час. За 2004–2016 гг. в летний период было зафиксировано 143 случая выпадения осадков с данными критериями (55 из них в июне, 48 в июле и 40 в августе).



Рис. 2. Зависимость случаев очень сильного дождя от сумм осадков за летний период

На рис. 2 представлены изменения по годам количества случаев ОЯ и сумм осадков, выпавших за летний период. На фоне сильной межгодовой изменчивости значимый тренд повторяемости сильных осадков за 13 лет не прослеживается.

Наибольшее количество осадков, выпавшее в результате очень сильного дождя, было отмечено 25 июня 2015 г. на станции Губаха, где оно составило 107 мм за 12 ч. Максимальная же интенсивность была зафиксирована 11 августа 2016 г., когда на станции Оханск за 2 часа выпало 50 мм осадков.

В большинстве случаев очень сильные дожди охватывают небольшие территории и редко отмечаются на нескольких станциях одновременно (рис. 3).

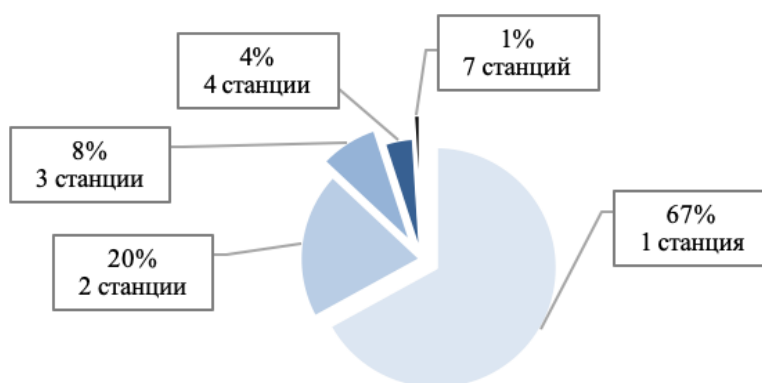


Рис. 3. Распределение случаев сильных дождей в зависимости от числа одновременно отметивших их метеостанций

За период с 2004 по 2016 г. в 67 % случаев очень сильный дождь наблюдался только на 1 станции, в 20 % – на 2-х, в 8 % – на 3-х, в 4 % на 4-х станциях одновременно. Лишь в одном случае (22 июня 2005 г.) очень сильный дождь был зафиксирован одновременно на 7 станциях.

На рис. 4 представлена зависимость повторяемости очень сильных дождей от высоты станции. Четко прослеживается тенденция на увеличение повторяемости ОЯ с увеличением высоты над уровнем моря (коэффициент корреляции составил 0,8). Число случаев изменяется от 1–2 на высотах ниже 150 метров до 3–6 на высотах более 150 м над уровнем моря, с максимумом в 9 случаях на высоте 360 м над уровнем моря (станция Бисер).



Рис. 4. Зависимость повторяемости очень сильного дождя от высоты станции над уровнем моря

В отличие от повторяемости явления, зависимость между интенсивностью осадков и высотой местности, интенсивностью осадков и рельефом территории не прослеживается. Более того, на некоторых станциях, расположенных вблизи Уральских гор, средняя интенсивность осадков ниже средней интенсивности по краю.

**Анализ полученных значений параметров неустойчивости.** Средние значения индексов неустойчивости в дни очень сильного дождя составили:  $LI=2$  °C,  $VT=25$  °C,  $CN=23$  °C,  $TT=48$  °C,  $K=31$  °C. При этом параметр  $K$  превысил критическое значение в 1 % от всех случаев,  $LI$  – в 4 %,  $TT$  – в 40 %,  $VT$  – в 57 %, а индекс  $CN$  не достиг порогового значения ни в одном из случаев ОЯ, что свидетельствует о том, что общепринятые критические значения [2; 12] несколько завышены и не подходят для анализа термической неустойчивости атмосферы и случаев очень сильного дождя в Пермском крае. При этом в выборке, состоящей из случаев, когда количество осадков превышало или было равно 50 мм за период не более 12 часов, средние значения индексов получились идентичными средним значениям, рассчитанным для всей выборки.

В табл. 1 представлены значения параметров неустойчивости, при которых очень сильные дожди наблюдались в 90 % случаев, и общепринятые пороговые значения индексов.

Таблица 1

**Значения параметров неустойчивости (°C), при которых очень сильные дожди наблюдались в 90 % от всех случаев ОЯ**

Индекс	90 %	Критические значения
$LI$	$\leq 8$	$\leq -6$
$VT$	$\geq 23$	$\geq 26$
$CN$	$\geq 21$	$\geq 29$
$TT$	$\geq 44$	$\geq 50$
$K$	$\geq 25$	$\geq 40$

Значения индексов, при которых очень сильные дожди наблюдались в 90 % и более от всех случаев, предлагается использовать как пороговые для анализа и прогноза ОЯ на территории Пермского края.

Наиболее близки к общепринятым значениям параметры  $VT$ ,  $TT$  и  $CN$ , самая большая разница была обнаружена между значениями параметра  $K(15$ °C).

Для установления связи между параметрами неустойчивости, количеством и интенсивностью осадков были рассчитаны коэффициенты корреляции между этими величинами. Статистическая значимость была проверена с помощью коэффициента Стьюдента. Для выборки, состоящей из 143 элементов (случаи выпадения очень сильного дождя на территории Пермского края), коэффициент Стьюдента составил 1,6. При достижении или превышении данного значения корреляция считается статистически значимой.

В табл. 2 представлены коэффициенты корреляции между количеством, интенсивностью осадков и параметрами неустойчивости, а также коэффициенты значимости Стьюдента в дни очень сильных дождей.

Таблица 2

**Значения коэффициентов корреляции и коэффициентов Стьюдента между индексами неустойчивости и количеством, интенсивностью осадков**

Параметры неустойчивости	Количество осадков, мм		Интенсивность, мм/ч	
	R	T	R	T
<i>LI</i>	-0,12	-1,5	-0,24	-2,9
<i>VT</i>	0,03	0,4	0,13	1,6
<i>CN</i>	0,15	1,8	-0,05	-0,5
<i>TT</i>	0,10	1,2	0,06	0,8
<i>K</i>	0,15	1,8	0,07	0,9

Корреляция между количеством, интенсивностью осадков и параметрами неустойчивости слабая. Статистически значимой оказалась лишь связь между количеством осадков и индексами *CN* и *K*, а также интенсивностью осадков и индексами *LI* и *VT*.

### Заключение

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. На фоне сильной межгодовой изменчивости значимый тренд повторяемости случаев очень сильных дождей на территории Пермского края не прослеживается.

2. Определяющее влияние на формирование интенсивных осадков оказывала циклоническая деятельность. Характерная синоптическая ситуация, при которой выпадают очень сильные дожди, связана с холодным фронтом 1 и 2 рода или фронтом окклюзии.

3. В большинстве случаев рассчитанные индексы неустойчивости (*LI*, *K*, *CN*, *VT* и *TT*) не достигали значений, приводимых в ранее проводившихся исследованиях по данной теме.

4. Были предложены критические значения параметров, при которых стоит ожидать развития конвекции и выпадения сильных дождей на территории Пермского края.

5. При анализе связи параметров неустойчивости с количеством и интенсивностью осадков наиболее удачно показали себя индексы *VT*, *LI*, *CN* и *K*. Кроме того, критическое значение индекса *VT*, рассчитанное для Пермского края, оказалось наиболее близко к критическому значению данного параметра, рассчитанного для Европы.

Для использования на практике физико-статистических параметров неустойчивости атмосферы необходимо провести анализ по большей выборке, что даст более точный результат и позволит использовать рассчитанные для 90 % и более случаев ОЯ значения индексов как пороговые для Пермского края, поэтому полученные в данной работе результаты следует считать предварительными.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин Н.А. Мониторинг, моделирование и прогноз состояния атмосферы в умеренных широтах. Пермь: Пермский гос. нац. исследовательский ун-т., 2015. 308 с.
2. Быков А.В., Ветров А.Л., Калинин Н.А. Прогноз опасных конвективных явлений в Пермском крае с использованием глобальных прогностических моделей // Тр. Гидрометцентра России. 2017. Вып. 363. С. 101-119.
3. Климатическая характеристика Пермского края. URL: <http://accident.perm.ru/index.php/spravochnyj-razdel/klimat/7> (дата обращения: 03.05.2018).

4. Калинин Н.А., Фрик Л.В., Смирнова А.А. Исследование влияния рельефа Пермского края на распределение полей осадков // Географический вестник. 2008. № 2 (8). С. 187-195.
5. Калинин Н.А., Ермакова Л.Н., Аликина И.Я. Особенности формирования высокой температуры воздуха в сентябре-октябре 2003 г. на Среднем и Южном Урале // Метеорология и гидрология. 2005. № 5. С. 82-89.
6. Климатическая характеристика очень сильных дождей. URL: <http://accident.perm.ru/index.php/spravochnyj-gazdel/opasnye-meteorologicheskie-yavleniya/405-silnye-dozhdi> (дата обращения 20.04.2018).
7. Быков А.В., Шихов А.Н. Прогноз мезомасштабных конвективных систем с применением глобальных и мезомасштабных гидродинамических моделей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 2. С. 213–224. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-213-224
8. База данных опасных явлений погоды Пермского края. URL: <http://map.psu.ru/search.aspx> (дата обращения: 03.03.2018).
9. Шихов А.Н. Быков А.В. База данных об опасных и неблагоприятных явлениях погоды в Пермском крае как региональный аналог ESWD // Географический вестник. 2014. № 4 (31). С. 102–109.
10. National Centers for Environmental Information. URL: <https://nomads.ncdc.noaa.gov/data/gfsan/> (дата обращения 13.05.2019).
11. Опасные природные явления Пермского края. URL: <http://accident.perm.ru> (дата обращения 13.03.2018).
12. Gracier J. Convection parameters. URL: <http://www.juergen-grieser.de/CovectioParameters/ConvectionParameters.pdf> (дата обращения: 22.04.2018).
13. Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/maps.php> (дата обращения 10.02.2019)
14. Перечень и критерии опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) по территории деятельности ФГБУ «Уральское УГМС» (Согласно РД 52.04.563-2013). URL: <http://meteorperm.ru/files/oja.pdf> (дата обращения: 20.04.2018).

Поступила в редакцию 23.03.2020

Сергеева Екатерина Сергеевна, инженер кафедры метеорологии и охраны атмосфер

E-mail: [sergeevaese@gmail.com](mailto:sergeevaese@gmail.com)

Калинин Николай Александрович, доктор географических наук, профессор,

заведующий кафедрой метеорологии и охраны атмосферы

E-mail: [kalinin@psu.ru](mailto:kalinin@psu.ru)

ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

*E.S. Sergeeva, N.A. Kalinin*

## CHARACTERISTIC OF CONDITIONS OF HEAVY RAINS IN PERM REGION USING ATMOSPHERIC INSTABILITY INDICES

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-2-207-214

Currently, interest to alternative methods of the analysis and forecasting of dangerous meteorological phenomena has considerably increased due to the low density of the observational network, which is insufficient to provide all users with necessary information in a timely and qualitative way. A general analysis of precipitation characteristics for the period from 2004 to 2016 was conducted during the work. The favorable synoptic conditions for heavy rains precipitation have been identified; their dependence on the altitude was discovered. The aim of this research is to analyze the incidence of heavy rains in the Perm region and to assess instability indexes, which are calculated for specific cases of this phenomenon. For this goal, 5 indices (LI, VT, CN, TT, K) were selected. Their values were calculated in terms of heavy rains based on reanalysis data. It was found that the average settings, which were obtained during the calculation, are slightly lower than the values calculated for other regions and given in previously published researches of this field of science. It means that it is necessary to establish specific indices criteria for the Perm region. Developing of convection and heavy rain in Perm region can be expected when the values of instability indices are near to the calculated values, at which at least 90 % of the total number of cases of the studied meteorological phenomenon occurred. A larger sample should be used to calculate the instability indices for analysis and forecast of heavy rains in practice.

*Keywords:* dangerous meteorological phenomena, heavy rain, instability indices, Perm region, convection, reanalysis.

## REFERENCES

1. Kalinin N.A. *Monitoring, modelirovanie i prognoz sostoyaniya atmosfery v umerennykh shirotakh* [Monitoring, modelling and prediction of the atmosphere in temperate latitudes], Perm': Permskiy Gos. Nats. Issledovat. Univ., 2015. 308 c. (in Russ.).

2. Bykov A.V., Vetrov A.L., Kalinin N.A. [The forecast of dangerous convective phenomena in the Perm Krai with use of global prognostic models], in *Trudy Gidrometsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2017, iss. 363, pp. 101–119 (in Russ.).
3. *Klimaticheskaya kharakteristika Permskogo kraya* [Climatic characteristic of Perm region], Available at: <http://accident.perm.ru/index.php/spravochnyj-razdel/klimat/7-> (accessed: 03.05.2018) (in Russ.).
4. Kalinin N.A., Frik L.V., Smirnova A.A. [Study of the influence of the Perm region's topography on the distribution of precipitation fields], in *Geograficheskiy vestnik*, 2008, no. 2 (8), pp. 187–195 (in Russ.).
5. Kalinin N.A., Ermakov L.N., Alikinal.Ya. [Features of formation of high air temperature in September-October 2003 in Middle and South Ural], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2005, no. 5, pp. 82–89 (in Russ.).
6. *Klimaticheskaya kharakteristika ochen' sil'nykh dozhdoy* [Climatic characteristic of very heavy rains], Available at: <http://accident.perm.ru/index.php/spravochnyj-razdel/opasnye-meteorologicheskie-yavleniya/405-silnye-dozhdi> (accessed: 20.04.2018) (in Russ.).
7. Bykov A.V., Shikhov A.N. [Mesoscale convective systems forecast using global and mesoscale atmospheric models], in *Sovremennye problem distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, vol.15, no.2, pp. 213–224. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-213-224 (in Russ.).
8. *Baza dannykh opasnykh yavleniy pogody Permskogo kraya* [Database of hazardous weather events in the Perm region], Available at: <http://map.psu.ru/search.aspx> (accessed: 03.03.2018) (in Russ.).
9. Shikhov A.N., Bykov A.V. [The Database on hazardous and severe weather events in the Perm region as a regional analogue ESWD], in *Geograficheskiy vestnik*, 2014, no. 4 (31), pp. 102–109 (in Russ.).
10. National Centers for Environmental Information. Available at: <https://nomads.ncdc.noaa.gov/data/gfsanl/> (accessed: 13.05.2019).
11. *Opasnye prirodnye yavleniya Permskogo kraya* [Natural hazards Perm region], Available at: <http://accident.perm.ru> (accessed: 13.03.2018) (in Russ.).
12. Gracier J. Convection parameters. Available at: <http://www.juergen-grieser.de/CovectionParameters/ConvectionParameters.pdf> (accessed: 22.04.2018).
13. *Pogoda i klimat* [Weather and climate], Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/maps.php> (accessed: 10.02.2019) (in Russ.).
14. *Perechen' i kriterii opasnykh gidrometeorologicheskikh yavlenii (OYa) po territorii deyatel'nosti FGBU «Ural'skoe UGMS» (Soglasno RD 52.04.563-2013)* [The list and criteria dangerous hydrometeorological the phenomenon across the territory of activity of Federal State Budgetary Institution "Ural Office for Hydrometeorology and Environmental Monitoring" (According to RD 52.04.563-2013)], Available at: <http://meteoperm.ru/files/oya.pdf> (accessed: 20.04.2018) (in Russ.).

Received 23.03.2020

Sergeeva E.S., Engineer of the Department of Meteorology and Atmosphere Protection  
E-mail: [sergeevaese@gmail.com](mailto:sergeevaese@gmail.com)

Kalinin N.A., Doctor of Geography, Professor, Head of Department of Meteorology and Atmosphere Protection  
E-mail: [kalinin@psu.ru](mailto:kalinin@psu.ru)

Perm State University  
Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990