

Характеристики экстремальных атмосферных осадков в Крыму

В. В. Ефимов *, А. Е. Анисимов, О. И. Комаровская

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

** e-mail: vefim38@mail.ru*

Аннотация

Рассмотрены статистические характеристики экстремальных осадков по данным долгосрочных (75 лет и более) измерений на пяти гидрометеорологических станциях Крыма. Приведены количественные характеристики многолетней изменчивости осадков, повторяемости сухих и влажных периодов, внутригодовой изменчивости экстремальных осадков. Построены кумулятивные функции распределения экстремальных осадков и их аппроксимации на основе обобщенных распределений экстремальных значений. Как среднесуточные, так и экстремальные значения осадков максимальны на метеостанции Ай-Петри. В этом пункте также отмечаются наиболее продолжительные влажные периоды (2.73 сут) и наиболее интенсивные суточные осадки (6.85 мм/сут). В прибрежных пунктах Керчь, Севастополь и Феодосия отмечается наибольшая средняя продолжительность сухих периодов (до 8 сут в Феодосии), суммарное количество осадков в Симферополе больше, чем в прибрежных городах. Анализ экстремальных осадков подтвердил, что наиболее интенсивные экстремальные осадки отмечаются в летний период на Ай-Петри (165 мм/сут для периода повторяемости в 50 лет), а также в Керчи и Феодосии. Экстремальные осадки в Симферополе и Севастополе в два раза слабее, чем на Ай-Петри.

Ключевые слова: атмосферные осадки, Крым, измерения осадков, статистические характеристики, период повторяемости, возвратные значения

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦ МГИ по теме № 0827-2021-0002 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия в системе океан-атмосфера, определяющих региональную пространственно-временную изменчивость природной среды и климата».

Для цитирования: Ефимов В. В., Анисимов А. Е., Комаровская О. И. Характеристики экстремальных атмосферных осадков в Крыму // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2022. № 2. С. 6–18. doi:10.22449/2413-5577-2022-2-6-18

© Ефимов В. В., Анисимов А. Е., Комаровская О. И., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Characteristics of Extreme Precipitation in Crimea

V. V. Efimov *, A. E. Anisimov, O. I. Komarovskaya

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

** e-mail: vefim38@mail.ru*

Abstract

The paper considers the statistical characteristics of extreme precipitation according to long-term (75 years or more) measurements at 5 hydrometeorological stations in Crimea. Quantitative characteristics of the long-term variability of precipitation, the frequency of dry and wet periods, and the interannual variability of extreme precipitation are given. Cumulative distribution functions of extreme precipitation and their approximations based on generalized distributions of extreme values (GEV) are constructed. Both long-term averages and extreme precipitation values take its maxima at the Ai-Petri weather station. This station also has the longest wet periods (2.73 days) and the most intense daily precipitation (6.85 mm/day). The coastal stations of Kerch, Sevastopol and Feodosia have the longest average duration of dry periods (up to 8 days in Feodosia), and the total amount of precipitation in Simferopol is greater than that in coastal cities. The analysis of extreme precipitation confirmed that the most intense extreme precipitation is observed in the summer period on Ai-Petri (165 mm/day for a return period of 50 years), as well as in Kerch and Feodosia. Extreme precipitation in Simferopol and Sevastopol is two times weaker than that on Ai-Petri.

Key words: precipitation, Crimea, precipitation measurements, statistical characteristics, return period, return values

Acknowledgements: the study was carried out under state assignment no. 0827-2021-0002 “Fundamental studies of the interaction processes in the ocean – atmosphere system conditioning the regional spatial-temporal variability of natural environment and climate”.

For citation: Efimov, V.V., Anisimov, A.E. and Komarovskaya, O.I., 2022. Characteristics of Extreme Precipitation in Crimea. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (2), pp. 6–18. doi: 10.22449/2413-5577-2022-2-6-18

Введение

Характерной особенностью осадков в Крыму является значительная неоднородность их распределения на относительно небольшой территории. Большая часть степной области полуострова характеризуется недостаточным увлажнением: количество осадков за год в среднем составляет 430–550 мм, в то время как под влиянием Крымских гор существенно больше осадков выпадает в горных районах [1]. В них количество осадков приблизительно в 1.5 раза превышает количество осадков над степной частью полуострова. Физическим механизмам возмущений, вносимых горами в поля скорости ветра и осадков, посвящена обширная литература, например [2–5]. При этом в области Южного берега Крыма (ЮБК) – узкой прибрежной полосы вдоль южного склона Крымских гор – формируется зона субтропического (субсредиземноморского) климата [6]. Несмотря на то что среднегодовое количество осадков здесь близко к количеству осадков в степных районах, большая их часть, как и в странах Средиземноморья, приходится на холодный зимний период. Во внутренних же степных районах

Крыма наоборот: месячная изменчивость относительно невелика, причем большая часть осадков приходится на теплый летний период¹⁾.

Интересной особенностью распределения осадков является уменьшение количества осадков в прибрежных областях по сравнению с центральными районами. Например, в Севастополе среднегодовое количество осадков составляет около 300 мм, в то время как в Симферополе – приблизительно 500–700 мм¹⁾. Это связано с относительным возрастанием количества конвективных осадков днем в летний период [7] вследствие вклада бризовой циркуляции [8, 9].

Отсутствие необходимой сети наблюдений, а также недостаточное пространственное разрешение данных спутниковых измерений [7, 10] не позволяет изучить про-время ю структуру осадков и оценить вероятностные характеристики осадков на всей территории полуострова. В первую очередь такая оценка важна для случаев экстремального количества осадков, катастрофические проявления которых наиболее заметны в некоторых областях полуострова: в горных долинах и на склонах гор [11].

Один из случаев сильного летнего дождя в области ЮБК относится к 6–7 сентября 2018 г. В Ялте и Феодосии выпало почти по две – три месячные нормы осадков. Еще два случая экстремальных осадков последнего времени относятся к лету 2021 г. В ночь на 17 июня в Крым, который до этого страдал от засухи, пришли настоящие тропические ливни, самые масштабные за последние 100 лет. За считанные часы выпало количество осадков, соответствующее норме за 2–3 месяца. На следующий день большая вода пришла в Ялту. Там повторилось то же, что было в Керчи, но в бóльших масштабах.

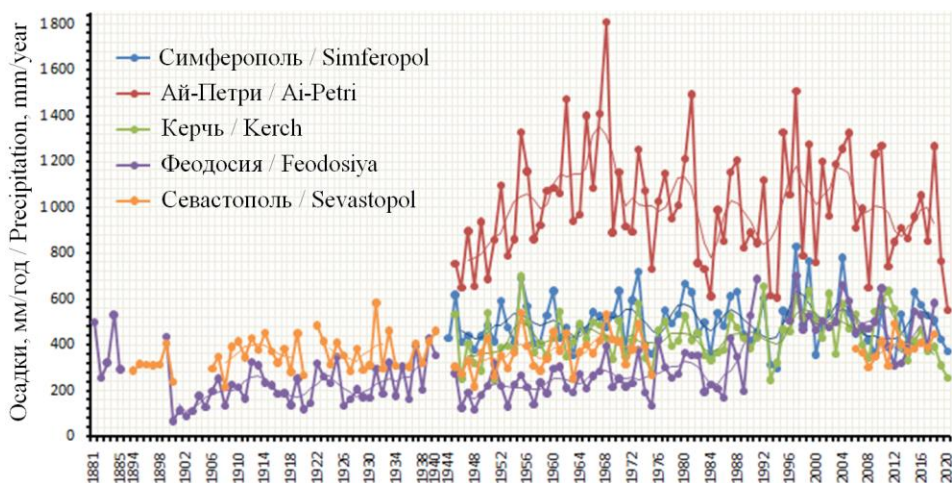
Целью настоящей статьи является оценка статистических характеристик экстремальных осадков, т. е. осадков, количество которых превышает 99%-ный уровень значимости [12]. Как указывалось, имеется крайне мало долговременных метеорологических наблюдений, пригодных для оценок функций распределения и повторяемости экстремальных осадков в Крыму. Весь доступный массив составляли архивные метеоданные на гидрометеостанциях (ГМС) Симферополя, Керчи, Ай-Петри, Севастополя и Феодосии за период не менее 75 полных лет²⁾, а также архивы сайта «Расписание погоды» (URL: <https://tp5.ru/>). Во всех остальных пунктах метеонаблюдений в Крыму имеются отрывочные измерения осадков, при этом непрерывные покрывают лишь последние 10–12 лет и не подходят для климатических оценок.

Статистические характеристики рядов суточных осадков на метеостанциях Симферополя, Ай-Петри, Керчи, Феодосии и Севастополя

На рис. 1 представлены ряды годовых сумм осадков на метеостанциях. Статистический анализ этих измерений показал, что самое большое количество годовых осадков наблюдалось на метеостанции Ай-Петри, расположенной в горах, здесь среднегодовая сумма осадков составила 1003 мм. В Симферополе среднегодовая сумма осадков составила 499 мм, а на прибрежных станциях Севастополя, Керчи и Феодосии – существенно

¹⁾ Климатический атлас Крыма. Симферополь : Таврия-Плюс, 2000. 118 с.

²⁾ URL: <https://www.ecad.eu> (дата обращения 31.05.2022).



Р и с . 1 . Годовые суммы осадков и скользящее осреднение по пяти точкам

Fig . 1 . Annual precipitation amounts and the moving average over 5 points

меньше: 365, 437 и 299 мм соответственно. Межгодовая изменчивость сумм осадков на Ай-Петри существенно превышает изменчивость на других станциях. Обращает на себя внимание также снижение количества осадков на всех станциях в 2019–2020 гг., в частности количество осадков на Ай-Петри было минимальным за рассматриваемый период – это стало основным фактором ограниченной доступности пресноводных ресурсов в 2020–2021 гг.

Ряд осадков в Симферополе содержит 28 125 измерений (77 лет), дней без осадков было 18 890. Ряды осадков в Керчи и на Ай-Петри содержат 27 759 суточных измерений (76 лет), при этом в Керчи было 20 095 дней без осадков, на Ай-Петри – 16 635 сухих дней. Ряд в Феодосии состоит из 42 733 измерений (111 лет), сухих дней было 34 480. В Севастополе ряд содержит 30 680 измерений (84 года), сухих дней было 22 556. Средние, а также максимальные количества осадков за весь рассматриваемый период наблюдений приведены в табл. 1. В ней также показаны средние и максимальные продолжительности периодов осадков и сухих периодов на метеостанциях и приведены оценки интенсивности ежесуточных осадков, рассчитанные по формуле

$$P_{\text{int}} = P_{\text{tot}} / N_{\text{wet}} ,$$

где P_{tot} – общее количество осадков, N_{wet} – число дней с осадками.

Как видно, интенсивность суточных осадков максимальна для ГМС Ай-Петри, располагающейся в области вершины Крымских гор на высоте около 1000 м, и минимальна для ГМС Севастополя в прибрежной юго-западной части полуострова.

Гистограммы рядов суточных осадков приведены на рис. 2. При этом частота или повторяемость числа дней с заданным количеством осадков определена по отношению к общей длине ряда наблюдений. Как видно, повторяемость осадков для всех станций монотонно уменьшается с ростом

Таблица 1. Статистические характеристики суточных рядов осадков: среднее за весь период количество осадков в сутки P_{mean} (мм/сут), максимальное за весь период количество осадков P_{max} (мм/сут), средняя продолжительность сухих периодов T_{drymean} (сут), максимальная продолжительность сухих периодов T_{drymax} (сут), средняя продолжительность периодов осадков T_{wetmean} (сут), максимальная продолжительность периодов осадков T_{wetmax} (сут), интенсивность осадков P_{int} (мм/сут)

Table 1. Statistical characteristics of daily precipitation series: all-time average daily precipitation P_{mean} (mm/day), maximum daily precipitation P_{max} (mm/day), average duration of dry periods T_{drymean} (day), maximum duration of dry periods T_{drymax} (day), average duration of wet periods T_{wetmean} (day), maximum duration of wet periods T_{wetmax} (day), precipitation intensity P_{int} (mm/day)

ГМС / Weather station	P_{mean}	P_{max}	T_{drymean}	T_{drymax}	T_{wetmean}	T_{wetmax}	P_{int}
Симферополь / Simferopol	1.37	119.2	4.29	48	2.15	19	4.16
Ай-Петри / Ai-Petri	2.75	215.2	4.09	42	2.73	30	6.85
Керчь / Kerch	1.20	300.0	5.18	57	1.98	13	4.33
Феодосия / Feodosiya	0.82	132.3	8.08	123	1.94	17	4.24
Севастополь / Sevastopol	1.00	209.0	5.57	60	2.01	15	3.78

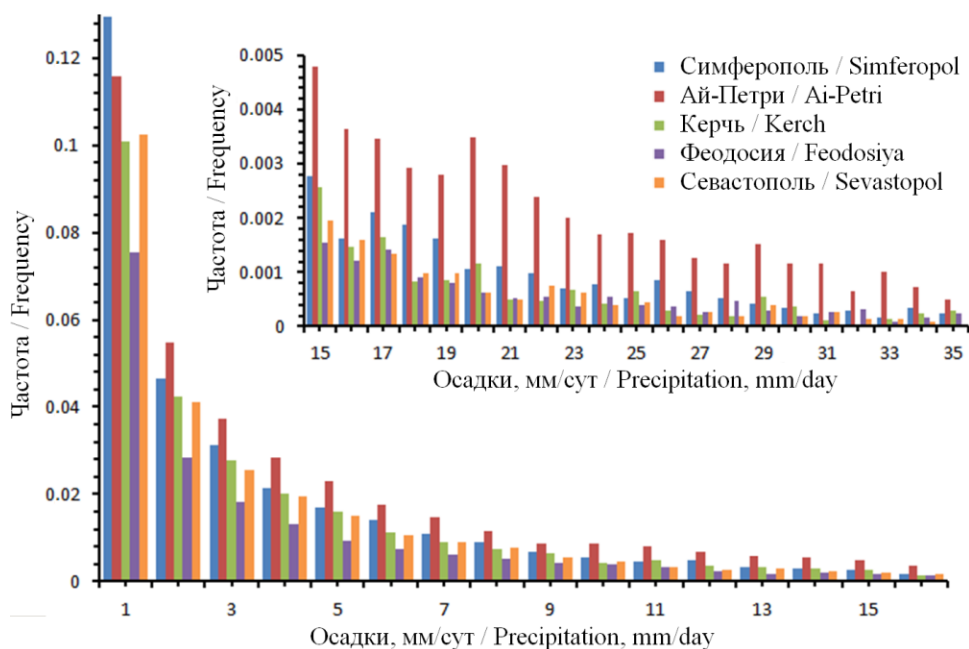
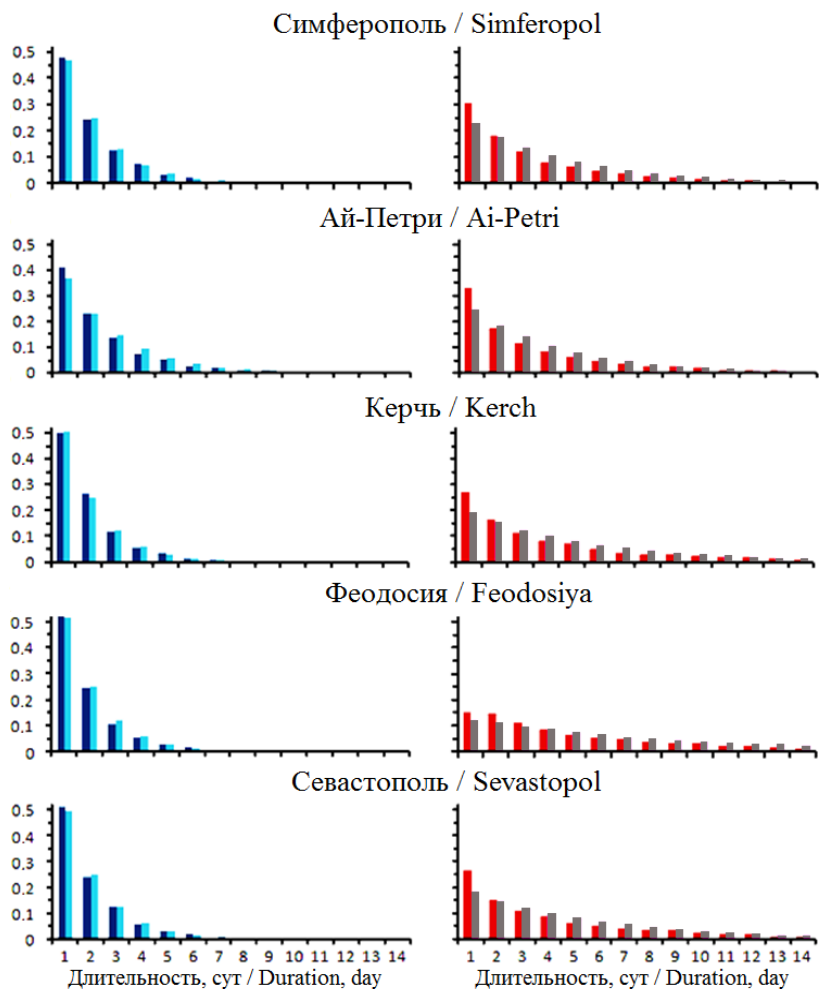


Рис. 2. Гистограммы рядов суточных осадков на метеостанциях

Fig. 2. Histograms of daily precipitation series at weather stations

количества осадков, при этом экстремальные осадки наиболее часты на станции Ай-Петри.

Важной характеристикой осадков являются функции распределения сухих дней (т. е. дней без осадков) и дней с осадками. Гистограммы периодов сухих и дождливых дней, а также функции распределения вероятности продолжительности сухих и дождливых периодов показаны на рис. 3.



Р и с . 3 . Гистограммы распределения длительности сухих периодов и периодов осадков на метеостанциях (синий цвет – эмпирические гистограммы длительности периодов осадков; голубой – аппроксимация геометрическим распределением; красный – эмпирические гистограммы длительности сухих периодов; серый – аппроксимация геометрическим распределением)

Fig . 3 . Distribution histograms of the duration of dry periods and wet periods at weather stations (dark blue – empirical histograms of the precipitation period duration; light blue – approximation by geometric distribution; red – empirical histograms of the precipitation period duration; grey – approximation by geometric distribution)

Для аппроксимации использовалось геометрическое распределение плотности вероятности ¹⁾

$$f(x_i = k) = p (1 - p)^{k-1},$$

где x_i – продолжительность периода с дождями или сухого периода; $p = 1/\bar{x}$ – параметр распределения, обратная величина средней продолжительности.

Для всех станций повторяемость сухих периодов приблизительно в два раза меньше повторяемости дождливых периодов, наиболее повторяемы однодневные дождливые периоды и сухие периоды продолжительностью 1–4 дня. В 90 % случаев осадки продолжаются 3 дня и меньше (4 дня – на Ай-Петри), в 50 % случаев – 1 день. Существенных различий в длительности влажных периодов на разных станциях не выявляется. В то же время повторяемость однодневных сухих периодов в Феодосии почти в два раза ниже, чем на других станциях, и длительные засушливые периоды случаются чаще.

Распределения сухих и влажных периодов являются важными характеристиками и структуры осадков [13], позволяющими не только судить о режиме увлажнения региона, но и оценивать возможность засух и наводнений. Ведь даже очень сильные осадки, которые выпали в течение непродолжительного времени, бывают не так опасны, как сравнительно небольшие осадки, но выпадающие в течение длительного периода. Важны также такие показатели, как вклад влажных/сухих периодов в общее количество дней с осадками / без осадков. При этом анализируется количество дней, то есть доля дней, образуемая периодами заданной длины, и таким образом оценивается экстремальность продолжительности периодов заданной длины.

На рис. 4 показаны доли периодов разной продолжительности от общего числа влажных и сухих дней.

Относительные вклады различаются для станций на побережье и на суше. В Керчи, Феодосии и Севастополе периоды без осадков длительностью 10 дней и более дают большой вклад в суммарное количество сухих дней за счет сниженной частоты осадков в летнее время года. И наоборот, влажные периоды длительностью от 5 дней и более дают меньший вклад в суммарное количество дней с осадками. На Ай-Петри же случаются влажные периоды длительностью в 10–15 сут.

Годовой ход экстремальных осадков

Наиболее интенсивные экстремальные осадки случаются летом. На рис. 5 показано количество ежесуточных осадков в Керчи и годовой ход среднего количества осадков, превышающего пороговое значение 15 мм/сут, что примерно соответствует, как будет видно из дальнейшего, уровню 99 % функции распределения. Максимальное количество ежесуточных осадков, достигающее значений свыше 50 мм, приходится на летний период года. Не приводя такие же распределения для других четырех метеостанций, отметим, что они незначительно отличаются от распределения в Керчи, показанного на рис. 5. Можно лишь указать, что для Ай-Петри менее выражен летний максимум ежесуточных экстремальных осадков.

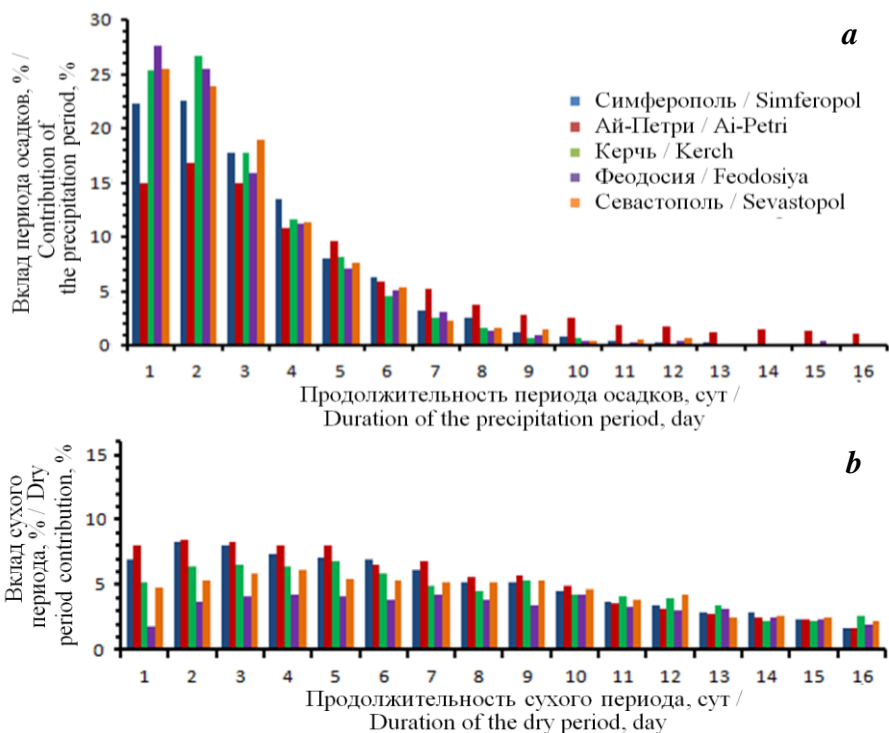


Рис. 4. Эмпирические гистограммы частичных вкладов периодов разной продолжительности в общее число влажных (а) и сухих (б) дней
 Fig. 4. Empirical histograms of partial contributions of different duration periods to the total number of wet (a) and dry (b) days

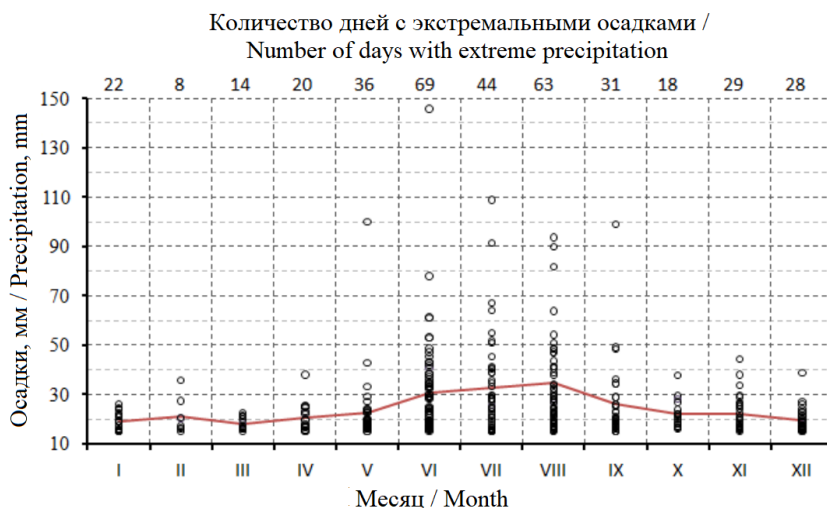
Объяснение летнего максимума экстремальных осадков простое. Интенсивные осадки в Крыму вызываются ливневыми дождями, связанными с конвективными осадками в теплый летний период года. В зимний период облачность, формирующая осадки, относится преимущественно к слоисто-дождевым облакам, источником влаги для обложных дождей в этом случае является адвекция водяного пара в результате переноса из соседних областей вследствие больших скоростей воздушного потока [8]. Осадки в зимний период продолжительные, но менее интенсивные и меньшие по количеству.

Характеристики экстремальных осадков

Для оценки распределения вероятности экстремального количества осадков, превышающего выбранное пороговое значение, т. е. хвоста полной функции распределения (обычно от значения 15 мм/сут для суточного количества [14, 15]), используем обобщенное распределение экстремальных значений (*generalized extreme value (GEV) distribution*). Функция распределения экстремальных значений задается формулой

$$F(x; \mu; \sigma; \xi) = \exp\left(-\left[1 + \xi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right),$$

где μ – параметр расположения; σ и ξ – параметры масштаба и формы соответственно.



Р и с . 5 . Распределение по месяцам экстремальных суточных осадков (более 15 мм) в Керчи по данным измерений за 1945–2020 гг. Красным цветом показан годовой ход средних значений
Fig . 5 . The monthly numbers of days with extreme (more than 15 mm) daily precipitation in Kerch according to measurement data for 1945–2020. The annual variation of the averages is shown in red

На рис. 6 показаны распределения вероятности самих рядов измерений суточных осадков (кумулятивные функции распределения) и их аппроксимации *GEV*-распределением с использованием метода максимального правдоподобия для пяти выбранных метеостанций.

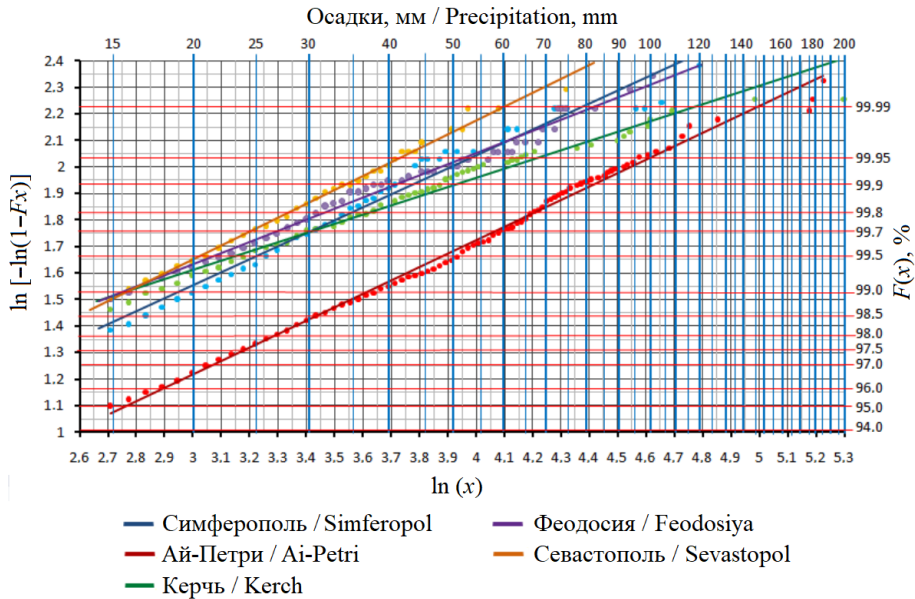
Как видно, наблюдается некоторое различие между распределением экстремальных осадков на станции Ай-Петри и на других ГМС. Для нее значения вероятности несколько смещены в сторону меньших значений, т. е. большие значения экстремальных осадков имеют большую вероятность, особенно это заметно в сравнении с Симферополем.

В качестве важной характеристики абсолютной экстремальности осадков часто используются так называемые возвратные значения (то есть значения, встречающиеся один раз в определенное количество лет) и периоды повторяемости (то есть время ожидания данного экстремального значения). Возвратные значения и периоды повторяемости связаны соотношением

$$F_p = \left(1 - \frac{1}{\tau(R_p)} \right),$$

где F_p – оценка плотности вероятности (процентиль) для возвратного значения суточных осадков R_p и времени ожидания события τ . Например, для периода повторяемости 100 лет для рядов суточных осадков соответствующий процентиль будет вычислен по формуле

$$1 - \frac{1}{365 \cdot 100} = 0.99997 .$$



Р и с . 6 . Графики плотности распределения суточных осадков (кумулятивные функции распределения) на метеостанциях в логарифмических координатах и их аппроксимация *GEV*-распределением методом максимального правдоподобия

Fig . 6 . The probability density of daily precipitation (cumulative distribution functions) at weather stations in logarithmic coordinates and their generalized extreme values distribution approximation using the maximum likelihood method

Таблица 2. Возвратные значения суточных осадков (мм/сут) на метеостанциях для разных периодов повторяемости

Table 2. Daily precipitation (mm/day) at weather stations for various return periods

ГМС / Weather station	Период повторяемости / Return period		
	20 лет / 20 years	50 лет / 50 years	100 лет / 100 years
Симферополь / Simferopol	70	85	98
Ай-Петри / Ai-Petri	137	165	190
Керчь / Kerch	105	139	169
Феодосия / Feodosiya	76	96	113
Севастополь / Sevastopol	55	67	76

По значению процентиля, используя аппроксимирующее распределение, легко определить возвратное значение для данного периода повторяемости. Рассчитанные оценки возвратных значений экстремальных осадков на метеостанциях для различных периодов повторяемости приведены в табл. 2.

В целом возвратные значения повторяют поведение значений интенсивности осадков. Наибольшие значения приходятся на ГМС Ай-Петри, наименьшие – на ГМС Севастополь. Физические причины этого понятны: количество осадков

в области высоких гор наибольшее вследствие особенностей обтекания гор потоком воздуха и повышенной конденсации при подъеме воздуха к вершине горы. А пониженная интенсивность осадков в Севастополе по сравнению, например, с Симферополем, как уже отмечалось, объясняется влиянием бризовой циркуляции и смещением области формирования конвективной облачности от берега в зону суши днем в теплый период года [7, 8]. Все эти доводы подтверждаются и рассчитанными оценками максимальной продолжительности сухих и дождливых периодов на метеостанциях для периодов повторяемости, приведенными в табл. 3.

Таблица 3. Возвратные значения продолжительности (сут) сухих и дождливых периодов на метеостанциях для разных периодов повторяемости
Table 3. The duration (days) of dry and wet periods at weather stations for various return periods

ГМС / Weather station	Период повторяемости / Return period		
	20 лет / 20 years	50 лет / 50 years	100 лет / 100 years
Симферополь / Simferopol	<u>34</u> 14	<u>38</u> 16	<u>41</u> 17
Ай-Петри / Ai-Petri	<u>32</u> 20	<u>35</u> 22	<u>38</u> 28
Керчь / Kerch	<u>41</u> 14	<u>46</u> 16	<u>49</u> 17
Феодосия / Feodosiya	<u>67</u> 12	<u>74</u> 13	<u>79</u> 15
Севастополь / Sevastopol	<u>45</u> 13	<u>50</u> 14	<u>54</u> 15

Примечание: над чертой продолжительность сухих периодов; под чертой – дождливых.

Note: above the line – duration of dry periods; below the line – that of wet periods.

Заключение

В работе были рассмотрены архивные данные измерений количества суточных осадков на ГМС Симферополя, Ай-Петри, Керчи, Феодосии и Севастополя. Статистический анализ построенных рядов показал, что самые продолжительные и интенсивные осадки наблюдаются на ГМС Ай-Петри, расположенной в горах. Здесь также выше межгодовая изменчивость сумм осадков. На прибрежных станциях Севастополя, Керчи и Феодосии среднегодовая сумма осадков, их интенсивность и межгодовая изменчивость значительно ниже. В Симферополе более континентальный климат обеспечивает средние значения этих величин: несколько выше, чем на прибрежных станциях, но по-прежнему существенно ниже, чем на ГМС Ай-Петри. Аналогичная закономерность прослеживается и при оценке длительности сухих периодов и периодов осадков на этих станциях. Анализ распределения экстремальных осадков по месяцам выявил максимум в летние месяцы. Это объясняется тем, что интенсивные осадки в Крыму вызываются ливневыми дождями, которые образуются вследствие конвекции в атмосфере в теплый летний период. При оценке вероятности экстремальных значений количества осадков использовалось *GEV*-распределение, позволившее определить возвратные значения суточных осадков на метеостанциях для разных периодов повторяемости. В целом соотношение возвратных значений на станциях аналогично соотношению значений интенсивности осадков: наибольшие значения получены для ГМС Ай-Петри, наименьшие – для ГМС Севастополь.

Приведенные в статье оценки максимальной продолжительности сухих и дождливых периодов также повторяют эту закономерность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Spatiotemporal aspects of interannual changes precipitation in the Crimea / R. Gorbunov [et al.] // Journal of Arid Environments. 2020. Vol. 183. 104280. doi:10.1016/j.jaridenv.2020.104280
2. Ефимов В. В., Комаровская О. И. Возмущения, вносимые Крымскими горами в поля скорости ветра // Морской гидрофизический журнал. 2019. Т. 35, № 2. С. 134–146. doi:10.22449/0233-7584-2019-2-134-146
3. Ефимов В. В., Комаровская О. И. Влияние гор на климат южного берега Крыма // Метеорология и гидрология. 2019. № 9. С. 86–94.
4. Roe G. H. Orographic precipitation // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 2005. Vol. 33. P. 645–671. doi:10.1146/annurev.earth.33.092203.122541
5. Orographic influence on rainfall and track deflection associated with the passage of a tropical cyclone / Y.-L. Lin [et al.] // Monthly Weather Review. 2002. Vol. 130, iss. 12. P. 2929–2950. doi:10.1175/1520-0493(2002)130<2929:OIORAT>2.0.CO;2
6. Зац В. И., Лукьяненко О. Я., Яцевич Г. В. Гидрометеорологический режим Южного берега Крыма. Л. : Гидрометеиздат, 1966. 120 с.
7. Анисимов А. Е., Ефимов В. В., Львова М. В. Верификация данных дистанционного зондирования GPM IMERG и количественные оценки атмосферных осадков в Крымском регионе в теплое время года // Морской гидрофизический журнал. 2021. Т. 37, № 4. С. 490–504. doi:10.22449/0233-7584-2021-4-490-504
8. Ефимов В. В., Анисимов А. Е., Комаровская О. И. Особенности летних и зимних осадков в северной части Черноморского региона на примере данных численного моделирования // Морской гидрофизический журнал. 2021. Т. 37, № 6. С. 727–741. doi:10.22449/0233-7584-2021-6-727-741
9. Ефимов В. В., Комаровская О. И. Бризовая циркуляция в атмосфере Крымского региона // Морской гидрофизический журнал. 2015. № 6. С. 77–87. doi:10.22449/0233-7584-2015-6-77-87
10. Popovych V. F., Dunaieva, I. A. Assessment of the GPM IMERG and CHIRPS precipitation estimations for the steppe region of the Crimea. Meteorology Hydrology and Water Management. 2021. Vol. 9, iss. 1–2. 13 p. doi:10.26491/mhwm/133088
11. Voskresenskaya E., Vyshkvarkova E. Extreme precipitation over the Crimean peninsula // Quaternary International. 2016. Vol. 409, Part A. P. 75–80. doi:10.1016/j.quaint.2015.09.097
12. Von Storch H., Zwiers F. W. Statistical analysis in climate research. Cambridge : Cambridge University Press, 1999. 503 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511612336>
13. Deni S. M., Jemain A. A., Ibrahim K. The best probability models for dry and wet spells in Peninsular Malaysia during monsoon seasons // International Journal of Climatology. 2010. Vol. 30, iss. 8. P. 1194–1205. doi:10.1002/joc.1972
14. Improving estimates of heavy and extreme precipitation using daily records from European rain gauges / O. Zolina [et al.] // Journal of Hydrometeorology. 2009. Vol. 10, iss. 3. P. 701–716. doi:10.1175/2008JHM1055.1
15. Friederichs P., Hense A. Statistical downscaling of extreme precipitation events using censored quantile regression // Monthly Weather Review. 2007. Vol. 135, iss. 6. P. 2365–2378. doi:10.1175/MWR3403.1

Поступила 16.03.2022 г.; принята к публикации 27.04.2022 г.;
опубликована 25.06.2022 г.

Об авторах:

Ефимов Владимир Васильевич, заведующий отделом взаимодействия атмосферы и океана, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), доктор физико-математических наук, профессор, **ORCID ID: 0000-0002-4262-9902**, **ResearcherID: P-2063-2017**, **Scopus Author ID: 7202138991**, *vefim38@mhi-ras.ru*

Анисимов Анатолий Евгеньевич, старший научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), кандидат физико-математических наук, **ORCID ID: 0000-0002-5530-5608**, **ResearcherID: ABA-1705-2020**, **Scopus Author ID: 42561044300**, *anatolii.anisimov@mhi-ras.ru*

Комаровская Ольга Иридиевна, научный сотрудник, Морской гидрофизический институт РАН (299011, Россия, Севастополь, ул. Капитанская, д. 2), **ORCID ID: 0000-0003-1415-1283**, **ResearcherID: G-1814-2019**, **Scopus Author ID: 6504262996**, *komarovskaya@mhi-ras.ru*

About the authors:

Vladimir V. Efimov, Head of Atmosphere and Ocean Interaction Department, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Dr.Sci. (Phys.-Math.), Professor, **ORCID ID: 0000-0002-4262-9902**, **ResearcherID: P-2063-2017**, **Scopus Author ID: 7202138991**, *vefim38@mhi-ras.ru*

Anatolii E. Anisimov, Senior Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), Ph.D. (Phys.-Math.), **ORCID ID: 0000-0002-5530-5608**, **ResearcherID: ABA-1705-2020**, **Scopus Author ID: 42561044300**, *anatolii.anisimov@mhi-ras.ru*

Olga I. Komarovskaya, Research Associate, Marine Hydrophysical Institute of RAS (2 Kapitanskaya St., Sevastopol, 299011, Russian Federation), **ORCID ID: 0000-0003-1415-1283**, **ResearcherID: G-1814-2019**, **Scopus Author ID: 6504262996**, *komarovskaya@mhi-ras.ru*

Заявленный вклад авторов:

Ефимов Владимир Владимирович – формулировка и постановка задачи, подготовка текста статьи

Анисимов Анатолий Евгеньевич – представление данных в тексте и их анализ, редактирование текста

Комаровская Ольга Иридиевна – проведение расчетов, подготовка графических материалов, редактирование текста

Contribution of the authors:

Vladimir V. Efimov – formulation and research task statement, preparation of the text of the article

Anatolii E. Anisimov – presentation of data in the text and their analysis, text editing

Olga I. Komarovskaya – calculations, preparation of graphic materials, text editing

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All the authors have read and approved the final manuscript.