

УДК 504.38

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ КОЛИЧЕСТВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА

*Дрыгваль А. В.<sup>1</sup>, Дрыгваль П. В.<sup>2</sup>, Келип А. А.<sup>3</sup>, Табулиц В. А.<sup>4</sup>,*

*Горбунова Т. Ю.<sup>5</sup>, Братанов Н. С.<sup>6</sup>*

*<sup>1,3,4,5,6</sup>ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,  
Севастополь, Российская Федерация*

*<sup>1,2</sup>Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал  
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Феодосия,  
Российская Федерация*

*<sup>2</sup>ФГУП НТЦ Радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России, Москва,  
Российская Федерация*

*E-mail: <sup>1</sup>drygva195@mail.ru*

В статье проведен анализ распространения аномалий количества атмосферных осадков в Юго-Восточном Крыму за период с 1916 по 2020 гг. Анализ проводился с учетом циркуляционных эпох и периодов по Б.Л. Дзердзеевскому. Были рассчитаны аномалии количества атмосферных осадков и построены карты распределения аномалий для зимнего, весеннего, летнего, осеннего сезонов и для всего года. Результаты исследования показали, что в Юго-Восточном Крыму существуют зоны с аномально и экстремально низкими значениями количества атмосферных осадков, которые наблюдаются на протяжении всего года во все рассматриваемые периоды — в пределах Демерджи-Ускутского ландшафтного контура. Аномально высокое количество атмосферных осадков выпадало в период 1957–1969 гг. в небольшой зоне юго-западной части Туакского ландшафта. Самое большое количество атмосферных осадков зафиксировано в основном в восточной части Юго-Восточного Крыма в Пречемско-Карадагском и Судакско-Меганомском ландшафтах практически на протяжении всего рассматриваемого периода времени.

**Ключевые слова:** аномальное количество атмосферных осадков, экстремальное количество атмосферных осадков, стандартизированные аномалии, Крымский полуостров, z-анализ, изменение климата, ландшафты Юго-Восточного Крыма, среднемноголетнее количество атмосферных осадков, циркуляционные эпохи, циркуляционные периоды.

### ВВЕДЕНИЕ

Данная работа посвящена анализу статистических характеристик пространственных рядов данных за определенный период времени для выявления аномалий количества атмосферных осадков в Юго-Восточной части Крыма, с целью возможной оценки тенденции регионального изменения климатических условий.

Изучению пространственно-временного распространения количества атмосферных осадков на территории Крымского полуострова посвящены некоторые работы [1, 2, 3, 4, 5] в частности на территории Горного Крыма [6]. Вопросом анализа самих аномалий рассматриваемого метеопараметра также задавались некоторые исследователи в своих работах [7, 8, 9]. В целом аномалиями количества атмосферных осадков считают отклонения от долгосрочных средних значений количества осадков в определенном регионе. Такие аномалии помогают выявлять «сухие» или «влажные» периоды, появление которых связано с изменениями климатического режима региона.

Выявление аномалий количества осадков важно для развития некоторых направлений экономики региона, в частности сельскохозяйственного сектора, а также влияет на режим водопользования населения.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Для характеристики климатических особенностей была выбрана территория Юго-Восточной части Горного Крыма, где расположены следующие ландшафтные зоны согласно Л.А. Багровой [10]: Зеленогорский ландшафт, Пречемско-Карадагский ландшафт, Судакско-Меганомский ландшафт, Туакский ландшафт и Демерджи-Ускутский ландшафт (рис. 1). Рассматриваемый район характеризуется наименьшим количеством атмосферных осадков (максимум их выпадения приходится на летний сезон) и наибольшей сухостью воздуха, что отличает его от остальной части Горного Крыма.



Рис. 1. Ландшафты Юго-Восточной части Горного Крыма по Багровой Л.А.

Составлено автором по [10].

В качестве временных промежутков в рассмотрении тенденций аномальных значений количества атмосферных осадков все ряды изучаемых данных были разделены на промежутки, входящие в рамки групп циркуляционных эпох и периодов.

По направлению циркуляции атмосферы в Северном полушарии выделяются 4 группы циркуляции: зональная (без блокирующих процессов), нарушения

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ КОЛИЧЕСТВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА

зональности (один блокирующий процесс на полушарии), меридиональная северная (2–4 блокирующих процесса и столько же выходов южных циклонов) и меридиональная южная (циклоническая циркуляция над Арктикой без блокирующих процессов) [11].

В соответствии с этими 4-мя группами циркуляционных механизмов в атмосфере, Б.Л. Дзержевским были выделены циркуляционные эпохи, которые имеют названия: меридиональная северная, зональная и меридиональная южная [11].

По временным промежуткам рассматриваемые в статье данные о количестве атмосферных осадков (1916–2020 гг.) входят в зональную (1916–1956 гг.) и меридиональную южную циркуляционные эпохи, последняя в свою очередь делится на 4 периода: 1957–1969 гг., 1970–1980 гг., 1981–1997 гг., 1998–настоящее время.

Ряды данных по количеству атмосферных осадков над исследуемой частью Крымского полуострова были взяты из ресурса программы ClimateEU [12]. В программе ClimateEU содержатся исторические и прогнозируемые данные по более чем 50 параметрам сезонных и годовых климатических и биологических переменных.

Непрерывные ряды метеоданных для исследования представляли из себя среднемесячные значения данных метеопараметров. Для характеристики условий климатической обстановки рассматриваемой территории была проведена статистическая обработка данных о количестве атмосферных осадков, в частности анализ выявления аномалий, которые присутствовали в определенных сезоны или в целом за рассматриваемые периоды времени.

В работе необходимо определить, что можно считать аномальным значением параметра и каким образом его можно найти. В целом, аномалией может быть:

- значения выше или ниже определенного порога;
- экстремальные значения за выбранный период времени;
- число дней со значениями метеопараметров выше или ниже определенного порога.

Применяемым порогом (минимальным/максимальным) может служить:

- постоянный предел отклонений от нормы;
- стандартное отклонение, которое зависит от отклонений от нормы;
- последние процентиля в распределении данных и т.д.

В настоящем исследовании для определения аномальных значений метеопараметра в качестве аномалий принимались предельные значения количества атмосферных осадков (выше и ниже которых величины уже считаются аномальными), а порогом для выявления аномальных значений было использовано стандартное отклонение (статистический параметр). Для выявления аномалий метеопараметра проведен статистический анализ рядов данных т.е. проведен расчет стандартизированных аномалий (Z-анализ).

$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (1)$$

где:

$x_i$  — переменные (случайные величины), которые и составляют саму выборку;

$\bar{X}$  — среднее значение (математическое ожидание), которое вычисляется как среднее арифметическое число из ряда данных выборки;

$\sigma$  — стандартное (среднеквадратичное) отклонение для рассматриваемой выборки данных.

После расчёта z-оценок для всех точек регулярной сетки мы получим две выборки данных:

- первая выборка — это значения метеопараметра в каждой точке;
- вторая выборка — это соответствующие z-оценки для каждого значения метеопараметра.

Таким образом, мы можем сопоставить значение количества атмосферных осадков в каждой точке с ее z-оценкой. Это позволяет сравнивать аномалии метеопараметра в разных точках сетки независимо от их абсолютных значений.

Для проведения анализа все данные в каждой генеральной совокупности должны подчиняться закону нормально (Гауссовского) распределения. Все рассматриваемые нами генеральные совокупности данных метеопараметра соответствуют нормальному распределению.

В работе [13] предложено распределять температуру на 7 интервалов: норма, холодно, тепло, аномально холодно, аномально тепло, экстремально холодно, экстремально тепло.

Аналогичная градация справедлива и для значений количества атмосферных осадков на рассматриваемой территории, которую определим, как:

- норма ( $z$ = от -1 до 1);
- низкое количество атмосферных осадков ( $z$ = от -2 до -1);
- высокое количество атмосферных осадков ( $z$ = от 1 до 2);
- аномально низкое количество атмосферных осадков ( $z$ = от -3 до -2);
- аномально высокое количество атмосферных осадков ( $z$ = от 2 до 3);
- экстремально низкое количество атмосферных осадков ( $z$ = менее -3);
- экстремально высокое количество атмосферных осадков ( $z$ = более 3).

В соответствии с рассчитанными значениями z-параметра и определением конкретных пределов значений аномалий метеопараметра, появляется возможность оценить пространственное и временное распределение аномальных значений количества атмосферных осадков по территории Юго-Восточной части Горного Крыма. Зная предельные значения аномалий, можно выделить в выборке данных конкретные года или места, где есть аномальные значения.

Суммируя все вышесказанное, отмечается, что для формирования карт аномалий необходимо сформировать принцип того, на основе каких данных они будут строиться. В связи с этим в данной работе проделаны следующие шаги:

1. Для интерполяции данных был создан слой точек на исследуемой территории с расстоянием между ними  $0,01^\circ$ .

2. Получены значения среднемесячных значений количества атмосферных осадков января, апреля, июля, октября, и средние за год за период с 1916–2020 гг. с помощью программы ClimateEU [12].

3. Выбраны следующие временные интервалы в соответствии с эпохами и периодами циркуляционных эпох по Б.Л. Дзердзеевскому [11]: 1916–1956, 1957–

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ КОЛИЧЕСТВА  
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА**

1969, 1970–1980, 1981–1987, 1998–2020 гг., в соответствии с которыми были рассчитаны среднееголетние значения количества атмосферных осадков января, апреля, июля, октября, и среднееголетние значения за эти периоды.

4. Рассчитаны значения  $z$  для каждой точки пространства, для каждого временного периода в программной среде R, которые в последствии были интерполированы в программном комплексе Arcgis 10.2 для визуализации карт аномалий количества атмосферных осадков на изучаемой территории.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ**

В результате статистического анализа были получены диапазоны среднееголетних значений количества атмосферных осадков в целом за год и отдельно среднееголетние значения количества атмосферных осадков за месяцы: январь, апрель, июль и октябрь в период с 1916 по 2020 гг. и отдельно по циркуляционным эпохам и периодам по Б.Л. Дзердзеевскому [11] (рис. 2–6).

В табл. 1 представлены пределы среднегодовых значений количества атмосферных осадков за рассматриваемые временные промежутки в Юго-Восточной части Крыма.

Таблица 1.

Классификация среднееголетних диапазонов количества атмосферных осадков (мм) в соответствии с  $z$ -критериями в различные временные периоды (в качестве примера была взята аналогичная таблица в [14])

| <b>Классификация диапазонов количества атмосферных осадков</b>          |   |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|---|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
|   | <b>ЭНко</b>   | <b>АНко</b>         | <b>Нко</b>          | <b>Норма</b>        | <b>Вко</b>          | <b>АВко</b>         | <b>ЭВко</b> |
| Пределы $z$ -критерия   | $z < -3$  | $-3 < z < -2$       | $-2 < z < -1$       | $-1 < z < 1$        | $1 < z < 2$         | $2 < z < 3$         | $3 < z$     |
| Среднееголетнее кол-во атмосферных осадков, мм                          | 1916–2020 гг. (весь временной период)                                   |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 31,95$   | $31,95 < x < 36,60$ | $36,60 < x < 41,24$ | $41,24 < x < 50,53$ | $50,53 < x < 55,17$ | $55,17 < x < 59,81$ | $59,81 < x$ |
|   | 1916–1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха)                          |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 30,65$   | $30,65 < x < 35,37$ | $35,37 < x < 40,10$ | $40,10 < x < 49,55$ | $49,55 < x < 54,27$ | $54,27 < x < 59,00$ | $59,00 < x$ |
|   | 1957–1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 33,65$   | $33,65 < x < 38,48$ | $38,48 < x < 43,31$ | $43,31 < x < 52,97$ | $52,97 < x < 57,80$ | $57,80 < x < 62,63$ | $62,63 < x$ |
| 1970–1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |   |                     |                     |                     |                     |                     |             |
| $x < 29,51$   | $29,51 < x < 34,21$   | $34,21 < x < 38,92$ | $38,92 < x < 48,32$ | $48,32 < x < 53,03$ | $53,03 < x < 57,73$ | $57,73 < x$         |             |

Продолжение таблицы 1.

|   |  |                     |                             |                             |                             |                             |             |
|---|--|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|
| Среднегоднее кол-во атмосферных осадков, мм | 1981–1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи)    |                     |                             |                             |                             |                             |             |
|   | $x < 33,95$  | $33,95 < x < 38,40$ | $38,40 < x < 42,85$<br>2,85 | $42,85 < x < 51,74$<br>1,74 | $51,74 < x < 56,19$<br>6,19 | $56,19 < x < 60,63$<br>0,63 | $60,63 < x$ |
|   | 1998–2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |                     |                             |                             |                             |                             |             |
|   | $x < 32,91$  | $32,91 < x < 37,45$ | $37,45 < x < 41,99$<br>1,99 | $41,99 < x < 51,07$<br>1,07 | $51,07 < x < 55,61$<br>5,61 | $55,61 < x < 60,15$<br>0,15 | $60,15 < x$ |

Составлено автором.

Примечание: ЭНко / ЭВко — экстремально низкое количество атмосферных осадков / экстремально высокое количество атмосферных осадков; АНко / АВко — аномально низкое количество атмосферных осадков / аномально высокое количество атмосферных осадков; Нко / Вко — низкое количество атмосферных осадков / высокое количество атмосферных осадков;  $x$  — среднее значение количества атмосферных осадков за период.

Применяя полученные диапазоны количества атмосферных осадков в соответствии с  $z$ -критериями были построены карты аномалий среднемноголетних значений количества атмосферных осадков в период с 1916–2020 гг., а также отдельно в пределах циркуляционных эпох и периодов (рис. 2).

Аномальные значения количества атмосферных осадков не сильно меняют картину распространения по территории Юго-Восточного Крыма в различные периоды циркуляционных эпох и периодов (рис. 2). Отмечается наличие только экстремально низких и аномально низких среднегодовых значений количества атмосферных осадков. Они распространены по всей северо-западной и центральной частях Демерджи-Ускутского ландшафта. Самое большое количество атмосферных осадков, но не входящих в разряд «аномальных» отмечаются в пределах Пречемско-Карадагского и Судакско-Меганомского ландшафтов.

Отмечается, что за весь рассматриваемый временной период в 105 лет количество атмосферных осадков не имеет тенденции к сильному изменению над данной территорией.

В табл. 2 представлены пределы среднегодовых значений количества атмосферных осадков в январе за рассматриваемые временные промежутки в Юго-Восточной части Крыма.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ КОЛИЧЕСТВА  
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА

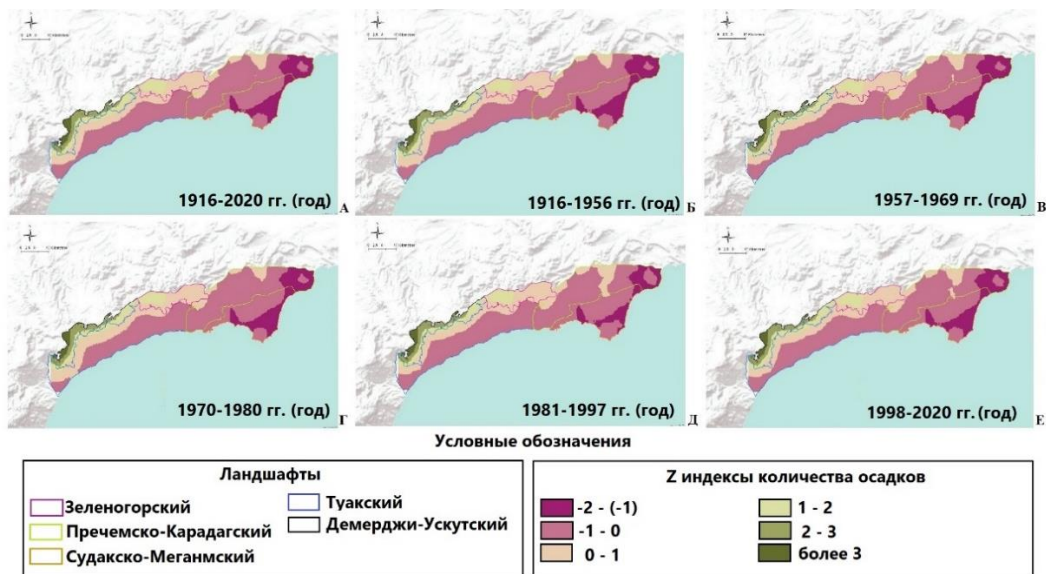


Рис. 2. Аномалии среднемноголетних значений количества атмосферных осадков: А — 1916–2020 гг. (весь период); Б — 1916–1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха); В — 1957–1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Г — 1970–1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Д — 1981–1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Е — 1998–2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи).

Составлено автором.

В январе картина распространения рассчитанных стандартизированных аномалий атмосферных осадков (z) похожа на их распространение в среднемноголетние периоды. Атмосферные осадки имеют отрицательно аномальные и отрицательно экстремальные значения выпадения, относительно всей рассматриваемой территории, только в Демерджи-Ускупском ландшафтном контуре – в его северной, западной и центральной частях (рис. 3). Самое большое количество атмосферных осадков отмечается в пределах Пречемско-Карадагского и Судакско-Меганомского ландшафтов.

В отличие от тенденции изменения среднего количества атмосферных осадков за весь год, сезонные зимние тенденции более проявлены в сторону увеличения количества осадков в январе (за 105 лет).

В табл. 3 представлены пределы среднегодовых значений количества атмосферных осадков в апреле за рассматриваемые временные промежутки в Юго-Восточной части Крыма.

Таблица 2.

Классификация среднемноголетних диапазонов количества атмосферных осадков (мм) в январе в соответствии с z-критериями в различные временные периоды (в качестве примера была взята аналогичная таблица в [14])

| Классификация диапазонов количества атмосферных осадков                    |   |                     |                     |                     |                      |                       |              |
|--|---|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|--------------|
|  | ЭНко  | АНко                | Нко                 | Норма               | Вко                  | АВко                  | ЭВко         |
| Пределы z-критерия   | $z < -3$  | $-3 < z < -2$       | $-2 < z < -1$       | $-1 < z < 1$        | $1 < z < 2$          | $2 < z < 3$           | $3 < z$      |
| Среднегоднее кол-во атмосферных осадков, мм                                | 1916-2020 гг. (весь временной период)                                   |                     |                     |                     |                      |                       |              |
|  | $x < 30,43$   | $30,43 < x < 39,94$ | $39,94 < x < 49,46$ | $49,46 < x < 68,49$ | $68,49 < x < 78,00$  | $78,00 < x < 87,52$   | $87,52 < x$  |
|  | 1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха)                          |                     |                     |                     |                      |                       |              |
|  | $x < 25,97$   | $25,97 < x < 35,92$ | $35,92 < x < 45,86$ | $45,86 < x < 65,75$ | $65,75 < x < 75,69$  | $75,69 < x < 85,64$   | $85,64 < x$  |
|  | 1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |                     |                     |                     |                      |                       |              |
|  | $x < 41,17$   | $41,17 < x < 53,27$ | $53,27 < x < 65,36$ | $65,36 < x < 89,55$ | $89,55 < x < 101,65$ | $101,65 < x < 113,75$ | $113,75 < x$ |
|  | 1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |                     |                     |                     |                      |                       |              |
|  | $x < 26,16$   | $26,16 < x < 33,73$ | $33,73 < x < 41,29$ | $41,29 < x < 56,42$ | $56,42 < x < 63,99$  | $63,99 < x < 71,56$   | $71,56 < x$  |
|  | 1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |                     |                     |                     |                      |                       |              |
|  | $x < 28,49$   | $28,49 < x < 36,13$ | $36,13 < x < 43,78$ | $43,78 < x < 59,08$ | $59,08 < x < 66,73$  | $66,73 < x < 74,38$   | $74,38 < x$  |
| 1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |   |                     |                     |                     |                      |                       |              |
| $x < 35,54$  | $35,54 < x < 45,22$   | $45,22 < x < 54,90$ | $54,90 < x < 74,26$ | $74,26 < x < 83,94$ | $83,94 < x < 93,62$  | $93,62 < x$           |              |

Составлено автором.

Примечание: ЭНко / ЭВко – экстремально низкое количество атмосферных осадков / экстремально высокое количество атмосферных осадков; АНко / АВко – аномально низкое количество атмосферных осадков / аномально высокое количество атмосферных осадков; Нко / Вко – низкое количество атмосферных осадков / высокое количество атмосферных осадков; x – среднее значение количества атмосферных осадков за период

Аномалии среднемноголетних значений количества атмосферных осадков в апреле имеют следующее распространение на территории Юго-Восточного Крыма: отрицательные экстремальные и аномальные значения количества атмосферных осадков во все временные периоды отмечаются только в центральной и северо-западной части Демерджи-Ускутского ландшафта.



ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ КОЛИЧЕСТВА  
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА

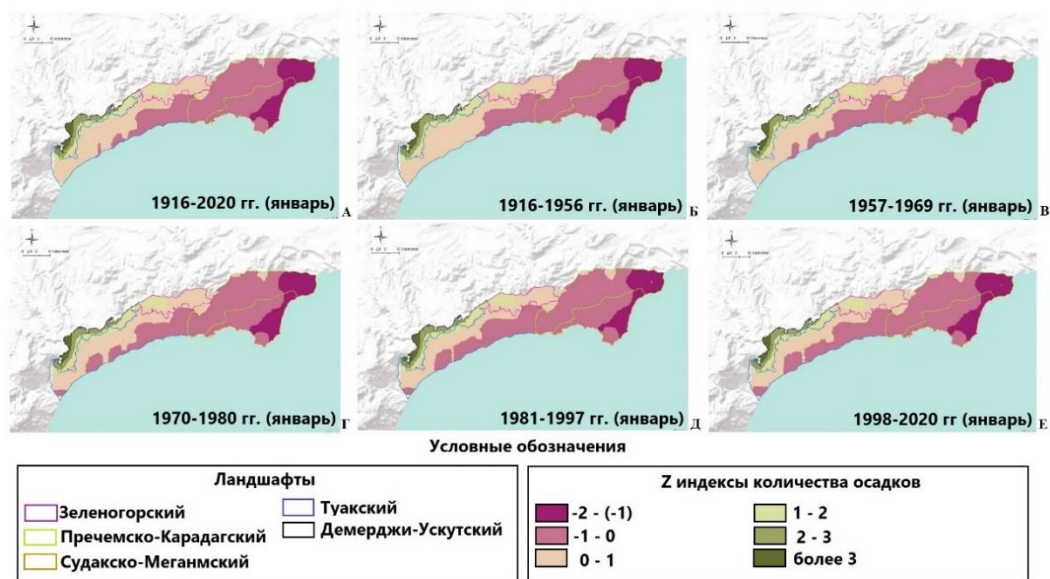


Рис. 3. Аномалии среднееголетних значений количества атмосферных осадков в январе: А — 1916–2020 гг. (весь период); Б — 1916–1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха); В – 1957–1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Г — 1970–1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Д — 1981–1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Е — 1998–2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)

Составлено автором.

Таблица 3.

Классификация среднееголетних диапазонов количества атмосферных осадков (мм) в апреле в соответствии с z-критериями в различные временные периоды

| Классификация диапазонов количества атмосферных осадков |  |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|---|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
|   | ЭНко   | АНко                | Нко                 | Норма               | Вко                 | АВко                | ЭВко        |
| Пределы z-критерия                                      | $z < -3$                                       | $-3 < z < -2$       | $-2 < z < -1$       | $-1 < z < 1$        | $1 < z < 2$         | $2 < z < 3$         | $3 < z$     |
| Среднееголетнее кол-во атмосферных осадков, мм          | 1916-2020 гг. (весь временной период)          |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 26,13$                                    | $26,13 < x < 29,67$ | $29,67 < x < 33,20$ | $33,20 < x < 40,26$ | $40,26 < x < 43,80$ | $43,80 < x < 47,33$ | $47,33 < x$ |
| Среднееголетнее кол-во атмосферных осадков, мм          | 1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха) |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 23,47$                                    | $23,47 < x < 27,01$ | $27,01 < x < 30,54$ | $30,54 < x < 37,60$ | $37,60 < x < 41,13$ | $41,13 < x < 44,66$ | $44,66 < x$ |

Продолжение таблицы 3.

|   |  |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|---|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
| Среднегоднее кол-во атмосферных осадков, мм | 1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)    |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 26,44$  | $26,44 < x < 29,64$ | $29,64 < x < 32,83$ | $32,83 < x < 39,23$ | $39,23 < x < 42,42$ | $42,42 < x < 45,62$ | $45,62 < x$ |
|   | 1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи)    |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 21,55$  | $21,55 < x < 25,71$ | $25,71 < x < 29,87$ | $29,87 < x < 38,19$ | $38,19 < x < 42,35$ | $42,35 < x < 46,51$ | $46,51 < x$ |
|   | 1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи)    |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 34,52$  | $34,52 < x < 38,85$ | $38,85 < x < 43,19$ | $43,19 < x < 51,85$ | $51,85 < x < 56,18$ | $56,18 < x < 60,52$ | $60,52 < x$ |
|   | 1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 25,35$  | $25,35 < x < 28,63$ | $28,63 < x < 31,92$ | $31,92 < x < 38,48$ | $38,48 < x < 41,77$ | $41,77 < x < 45,05$ | $45,05 < x$ |

Источник: в качестве примера была взята аналогичная таблица в [14].

Примечание: ЭНко / ЭВко — экстремально низкое количество атмосферных осадков / экстремально высокое количество атмосферных осадков; АНко / АВко — аномально низкое количество атмосферных осадков / аномально высокое количество атмосферных осадков; Нко / Вко — низкое количество атмосферных осадков / высокое количество атмосферных осадков;  $x$  — среднее значение количества атмосферных осадков за период.

Максимальное количество атмосферных осадков в весенний период выпадает в пределах Судакско-Меганомского и Туакского ландшафтов, причем в период 1957–1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи) в небольшой зоне юго-западной части Туакского ландшафта выпало аномально высокое количество атмосферных осадков.

В табл. 4 представлены пределы среднегодовых значений количества атмосферных осадков в июле за рассматриваемые временные промежутки в Юго-Восточной части Крыма. В июле аномалии среднемноголетних значений количества атмосферных осадков имеют разную картину распространения в разные временные периоды. Аномально и экстремально низкое количество атмосферных осадков во все временные периоды отмечаются только в пределах Демерджи-Ускутского ландшафта. Картина распространения наибольшего количества атмосферных осадков в пределах Юго-Восточного Крыма менялась.

Наибольшее количество атмосферных осадков отмечается в Пречемско-Карадагском, Судакско-Меганомском и Туакском ландшафтах в периоды: 1916–1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха) и 1981–1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи). В 1957–1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи), 1970–1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи), 1998–2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи) наибольшее количество

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ КОЛИЧЕСТВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА

атмосферных осадков распространены в пределах Пречемско-Карадагского и Судакско-Меганомского ландшафтов.

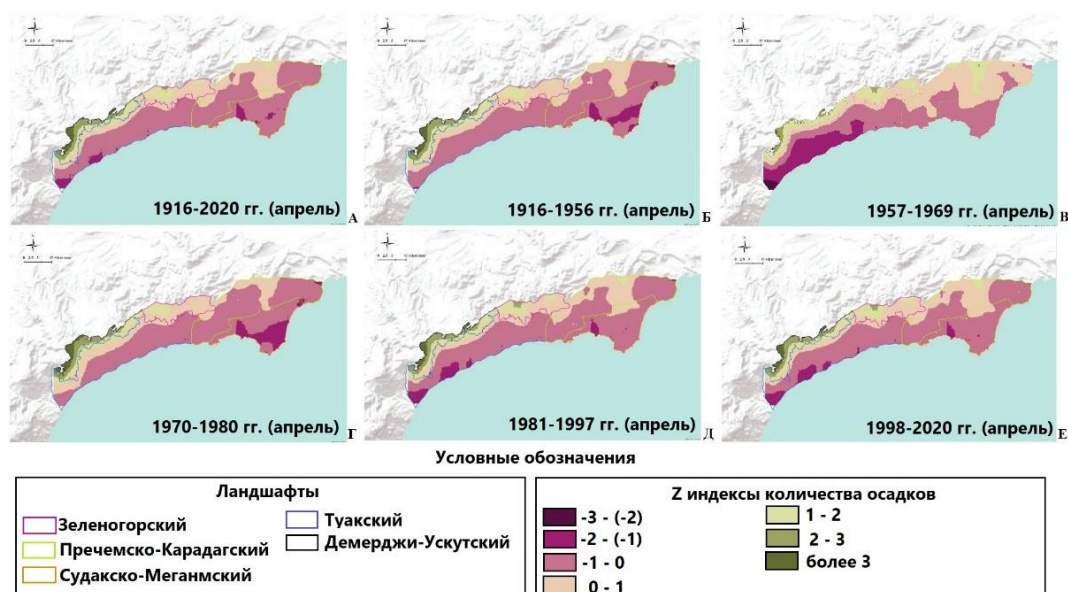


Рис. 4. Аномалии среднегодовых значений количества атмосферных осадков в апреле:

А — 1916–2020 гг. (весь период); Б — 1916–1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха); В — 1957–1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Г — 1970–1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Д — 1981–1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Е — 1998–2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи).

Составлено автором.

В табл. 5 представлены пределы среднегодовых значений количества атмосферных осадков в октябре за рассматриваемые временные промежутки в Юго-Восточной части Крыма.

Осенью картина распространения аномалий количества атмосферных осадков такая же, как и в остальные сезоны: аномально и экстремально низкое количество атмосферных осадков отмечаются во все временные периоды в Демерджи-Ускуптском ландшафте. Аномально и экстремально высоких значений количества атмосферных осадков нет. Наибольшее количество атмосферных осадков в целом выпадает в восточной части Юго-Восточного Крыма, в пределах Пречемско-Карадагского и Судакско-Меганомского ландшафтов.

Таблица 4.

Классификация среднемноголетних диапазонов количества атмосферных осадков (мм) в июле в соответствии с z-критериями в различные временные периоды

| Классификация диапазонов количества атмосферных осадков                    |   |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|--|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
|  | ЭНко  | АНко                | Нко                 | Норма               | Вко                 | АВко                | ЭВко        |
| Пределы z-критерия   | $z < -3$  | $-3 < z < -2$       | $-2 < z < -1$       | $-1 < z < 1$        | $1 < z < 2$         | $2 < z < 3$         | $3 < z$     |
| Среднегоднее кол-во атмосферных осадков, мм                                | 1916–2020 гг. (весь временной период)                                   |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|  | $x < 31,4$<br>8   | $31,48 < x < 34,48$ | $34,48 < x < 37,48$ | $37,48 < x < 43,47$ | $43,47 < x < 46,47$ | $46,47 < x < 49,46$ | $49,46 < x$ |
|  | 1916–1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха)                          |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|  | $x < 31,0$<br>8   | $31,08 < x < 33,97$ | $33,97 < x < 36,86$ | $36,86 < x < 42,65$ | $42,65 < x < 45,54$ | $45,54 < x < 48,43$ | $48,43 < x$ |
|  | 1957–1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|  | $x < 35,4$<br>0   | $35,40 < x < 38,56$ | $38,56 < x < 41,73$ | $41,73 < x < 48,07$ | $48,07 < x < 51,23$ | $51,23 < x < 54,40$ | $54,40 < x$ |
|  | 1970–1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|  | $x < 28,9$<br>2   | $28,92 < x < 31,85$ | $31,85 < x < 34,78$ | $34,78 < x < 40,64$ | $40,64 < x < 43,57$ | $43,57 < x < 46,50$ | $46,50 < x$ |
|  | 1981–1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|  | $x < 28,5$<br>2   | $28,52 < x < 31,54$ | $31,54 < x < 34,56$ | $34,56 < x < 40,61$ | $40,61 < x < 43,63$ | $43,63 < x < 46,65$ | $46,65 < x$ |
| 1998–2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |   |                     |                     |                     |                     |                     |             |
| $x < 33,1$<br>1  | $33,11 < x < 36,31$   | $36,31 < x < 39,51$ | $39,51 < x < 45,91$ | $45,91 < x < 49,12$ | $49,12 < x < 52,32$ | $52,32 < x$         |             |

Источник: в качестве примера была взята аналогичная таблица в [14].

Примечание: ЭНко / ЭВко — экстремально низкое количество атмосферных осадков / экстремально высокое количество атмосферных осадков; АНко / АВко — аномально низкое количество атмосферных осадков / аномально высокое количество атмосферных осадков; Нко / Вко — низкое количество атмосферных осадков / высокое количество атмосферных осадков; x — среднее значение количества атмосферных осадков за период.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ КОЛИЧЕСТВА  
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА

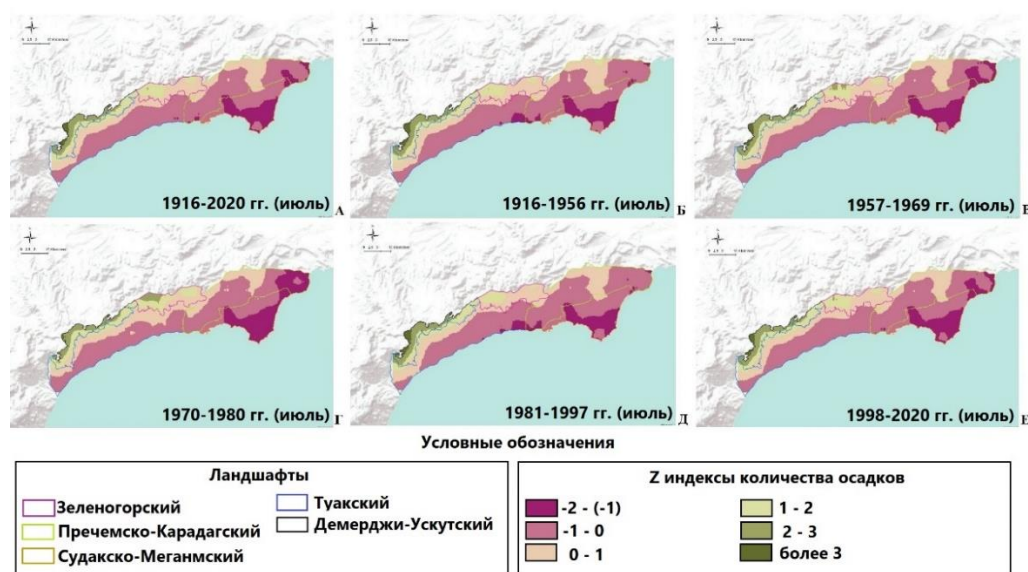


Рис. 5. Аномалии среднемноголетних значений количества атмосферных осадков в июле: А — 1916–2020 гг. (весь период); Б — 1916–1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха); В — 1957–1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Г — 1970–1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Д — 1981–1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Е — 1998–2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)

Составлено автором.

Таблица 5.  
Классификация среднемноголетних диапазонов количества атмосферных осадков (мм) в октябре в соответствии с z-критериями в различные временные периоды

| Классификация диапазонов количества атмосферных осадков |   |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|---|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
|   | ЭНко  | АНко                | Нко                 | Норма               | Вко                 | АВко                | ЭВко        |
| Пределы z-критерия                                      | $z < -3$  | $-3 < z < -2$       | $-2 < z < -1$       | $-1 < z < 1$        | $1 < z < 2$         | $2 < z < 3$         | $3 < z$     |
| Среднегоднее кол-во атмосферных осадков, мм             | 1916–2020 гг. (весь временной период)                                   |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 31,98$   | $31,98 < x < 35,52$ | $35,52 < x < 39,06$ | $39,06 < x < 46,13$ | $46,13 < x < 49,67$ | $49,67 < x < 53,20$ | $53,20 < x$ |
|   | 1916–1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха)                          |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 36,79$   | $36,79 < x < 40,69$ | $40,69 < x < 44,58$ | $44,58 < x < 52,38$ | $52,38 < x < 56,27$ | $56,27 < x < 60,17$ | $60,17 < x$ |
|   | 1957–1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |                     |                     |                     |                     |                     |             |
| $x < 21,72$   | $21,72 < x < 24,74$   | $24,74 < x < 27,76$ | $27,76 < x < 33,79$ | $33,79 < x < 36,81$ | $36,81 < x < 39,83$ | $39,83 < x$         |             |

Продолжение таблицы 5.

|   |  |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|---|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
| Среднегоднее кол-во атмосферных осадков, мм | 1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи)    |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 30,91$  | $30,91 < x < 34,07$ | $34,07 < x < 37,23$ | $37,23 < x < 43,54$ | $43,54 < x < 46,69$ | $46,69 < x < 49,85$ | $49,85 < x$ |
|   | $x < 27,69$  | $27,69 < x < 30,52$ | $30,52 < x < 33,34$ | $33,34 < x < 38,99$ | $38,99 < x < 41,82$ | $41,82 < x < 44,64$ | $44,64 < x$ |
|   | 1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи) |                     |                     |                     |                     |                     |             |
|   | $x < 32,78$  | $32,78 < x < 36,72$ | $36,72 < x < 40,65$ | $40,65 < x < 48,52$ | $48,52 < x < 52,45$ | $52,45 < x < 56,38$ | $56,38 < x$ |
|   |  |                     | 0,65                | 8,52                | 2,45                | 6,38                | <x          |
|   |  |                     |                     |                     |                     |                     |             |

Источник: в качестве примера была взята аналогичная таблица в [14].

Примечание: ЭНко / ЭВко — экстремально низкое количество атмосферных осадков / экстремально высокое количество атмосферных осадков; АНко / АВко — аномально низкое количество атмосферных осадков / аномально высокое количество атмосферных осадков; Нко / Вко — низкое количество атмосферных осадков / высокое количество атмосферных осадков; x — среднее значение количества атмосферных осадков за период

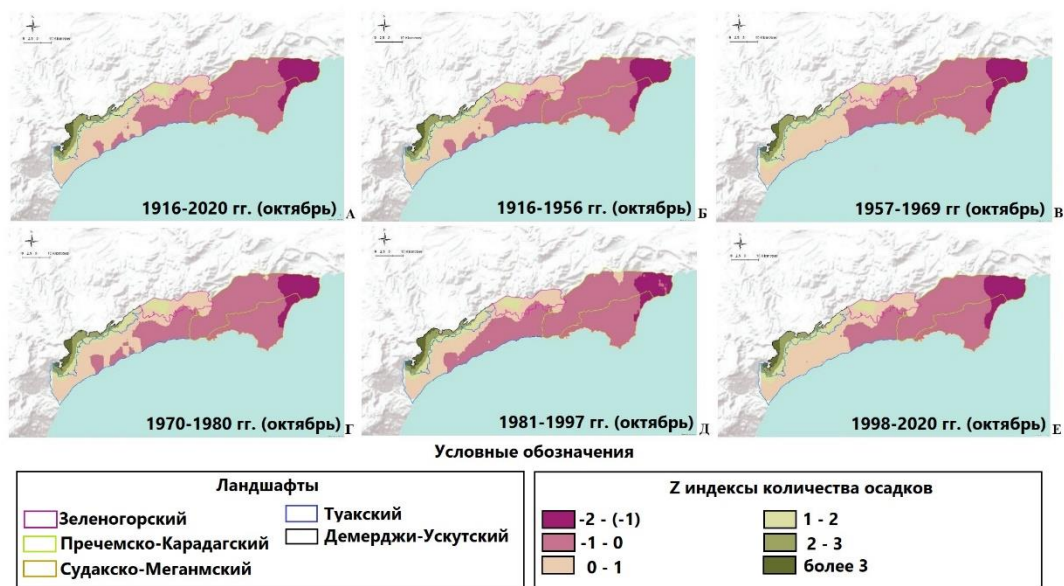


Рис. 6. Аномалии среднегодовых значений количества атмосферных осадков в октябре: А – 1916-2020 гг. (весь период); Б – 1916-1956 гг. (зональная циркуляционная эпоха); В – 1957-1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Г – 1970-1980 гг. (второй период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Д – 1981-1997 гг. (третий период меридиональной южной циркуляционной эпохи); Е – 1998-2020 гг. (четвертый период меридиональной южной циркуляционной эпохи)

Составлено автором.



## ВЫВОДЫ

Были выявлены участки, для которых характерно распространение аномальных и экстремально низких значений количества атмосферных осадков (среднеоголетние сезонные, а также среднеоголетние годовые). Данные участки находятся в пределах Демерджи-Ускутского ландшафтного контура, в его северо-западной и центральной частях.

Аномально высокое количество атмосферных осадков выпадало лишь в один период — 1957–1969 гг. (первый период меридиональной южной циркуляционной эпохи) в небольшой зоне юго-западной части Туакского ландшафта.

Самое высокое количество атмосферных осадков выпадало в основном в восточной части Юго-Восточного Крыма в Пречемско-Карадагском и Судакско-Меганомском ландшафтах практически на протяжении всего рассматриваемого периода времени.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение особенностей функционирования и динамики субтропических и тропических прибрежных экосистем в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки с использованием методов дистанционных исследований, технологий облачной обработки информации и машинного обучения для создания научных основ их рационального использования» (№ гос. регистрации 124030100030-0).

## Список литературы

1. Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Табунщик В.А., Дрыгваль А.В., Сафонова М.С. Динамика атмосферных осадков в ландшафтах равнинного Крыма // Успехи современного естествознания. 2021. № 9. С. 31–38.
2. Gorbunov R., Gorbunova T., Kononova N., Priymak A., Salnikov A., Drygval A., Lebedev Ya. Spatiotemporal aspects of interannual changes precipitation in the Crimea // Journal of Arid Environments. 2020. Vol. 183. Article no. 104280. 8 p.
3. Кононова Н.К., Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Велев С.Б. Связь экстремальных осадков на западном берегу Черного моря с макроциркуляционными процессами // Сложные системы. 2020. № 4 (37). С. 4–32.
4. Кононова Н.К., Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Лапченко В.А., Сафонова М.С. Связь экстремальных осадков в Крыму с макроциркуляционными процессами // Сложные системы. 2020. № 3 (36). С. 4–29.
5. Кононова Н.К., Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Сафонова М.С. Связь экстремальных осадков на восточном берегу Черного моря с макроциркуляционными процессами // Сложные системы. 2020. № 3 (36). С. 30–53.
6. Горбунов Р.В., Горбунова Т.Ю., Табунщик В.А., Дрыгваль А.В., Сафонова М.С. Динамика атмосферных осадков в ландшафтах Горного Крыма // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2021. Т. 6. № 4 (26). С. 28–38.

7. Гущина Д. Связь интенсивности циркуляции в циклонах умеренных широт с аномалиями температуры воздуха и осадков // *Метеорология и гидрология*. 2008. №11. С. 5–20.
8. Ефимов В.В., Шокуров М.В., Барабанов В.С. Статистическое моделирование месячных аномалий атмосферных осадков для региона Украины и Черного моря // *Морской гидрофизический журнал*. 2002. №1. С. 35–50.
9. Сизов А. А., Чехлан А.Е. Аномалии осадков в Украине в связи с 11-летним циклом солнечной активности // *Морской гидрофизический журнал*. 2004. №1. С. 41–51.
10. Багрова Л.А. Особенности природы и освоения естественных рекреационных ресурсов юго-восточного Горного Крыма: дис. ... канд. геогр. наук: Симферопольский государственный университет им. М. В. Фрунзе, Симферополь, 1974. 206 с.
11. Кононова Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому. Москва: Воентехиниздат, 2009. 372 с.
12. Climate data for North America, South America, and Europe [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sites.ualberta.ca/~ahamann/data.html>, - (дата обращения: 03.03.2022)
13. Pfister C., Kington J., Kleinlogel G., Schule H., Siffert E. High resolution spatio-temporal reconstructions of past climate from direct meteorological observations and proxy-data. *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715*. М.: Stuttgart, 1994. 329–375 pp.
14. Гечайте И. Колебания циркуляции атмосферы как фактор формирования сильных зимних похолоданий в восточной части Балтийского региона: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.30, 2016. 167 с.

## **SPATIAL AND TEMPORAL ASSESSMENT OF PRECIPITATION ANOMALIES IN SOUTHEASTERN CRIMEA**

*Drygval A. V.<sup>1</sup>, Drygval P. V.<sup>2</sup>, Kelip A. A.<sup>3</sup>, Tabunschik V. A.<sup>4</sup>,  
Gorbunova T. Yu.<sup>5</sup>, Bratanov N. S.<sup>6</sup>*

<sup>1,3,4,5,6</sup>*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia*

<sup>1,2</sup>*T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS – Branch of A.O. Kovalevsky  
Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Feodosia, Kurortnoye, Russia*

<sup>2</sup>*FSE RTC RCSH, Moscow, Russia*

*E-mail: <sup>1</sup>drygval95@mail.ru*

The article analyzes the anomalies of precipitation anomalies in Southeast Crimea for the period from 1916 to 2020. The analysis was carried out taking into account the circulation epochs and periods according to B.L. Dzerdzeyevsky. In terms of time intervals, the data on the amount of precipitation (1916–2020) considered in the article are included in the zonal (1916–1956) and meridional southern circulation epochs, the latter in turn is divided into 4 periods: 1957–1969, 1970–1980, 1981–1997, 1998–present.

Data series on the amount of precipitation over the studied part of the Crimean Peninsula were taken from the ClimateEU program resource. In this study to determine the anomalous values of meteorological parameter as anomalies were taken as the limit values of precipitation (above and below which values are already considered anomalous), and the standard deviation (statistical parameter) was used as a threshold for identifying anomalous values. To identify anomalies of the meteorological parameter statistical analysis of data series was carried out, i.e. the calculation of standardized anomalies (Z-analysis). Also,



anomaly distribution maps were constructed for winter, spring, summer, summer, fall seasons and for the whole year.

The results of the study showed that there are zones with anomalously and extremely low values of precipitation in South-Eastern Crimea, which are observed throughout the year in all periods under consideration - within the Demerdzhi-Uskut landscape contour. Anomalously high precipitation fell in the period 1957–1969 in a small zone of the southwestern part of the Tuak landscape. The highest amount of precipitation was recorded mainly in the eastern part of Southeast Crimea in the Prechem-Karadag and Sudak-Meganom landscapes practically throughout the entire period under consideration.

**Keywords:** anomalous precipitation, extreme precipitation, standardized anomalies, Crimean Peninsula, z-analysis, climate change, landscapes of South-Eastern Crimea, average annual precipitation, circulation epochs, circulation periods.

#### References

1. Gorbunov R. V., Gorbunova T. Yu., Tabunshchik V. A., Drygval' A. V., Safonova M. S. Dinamika atmosferyh osadkov v landshaftah ravninnogo Kryma (Dynamics of atmospheric precipitation in landscapes of flat Crimea) *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2021, no. 9, pp. 31–38 (in Russian).
2. Gorbunov R., Gorbunova T., Kononova N., Priymak A., Salnikov A., Drygval A., Lebedev Ya. Spatiotemporal aspects of interannual changes precipitation in the Crimea. *Journal of Arid Environments*, 2020. Vol. 183, Article no. 104280, 8 p. (in English).
3. Kononova N. K., Gorbunov R. V., Gorbunova T. Yu., Velev S. B. Svyaz' ekstremal'nyh osadkov na zapadnom beregu Chernogo morya s makrocirkulyacionnymi processami (Relation of extreme precipitation on the western shore of the Black Sea to macrocirculation processes) *Slozhnye sistemy*, 2020, no. 4 (37), pp. 4–32 (in Russian).
4. Kononova N. K., Gorbunov R. V., Gorbunova T. Yu., Lapchenko V. A., Safonova M. S. Svyaz' ekstremal'nyh osadkov v Krymu s makrocirkulyacionnymi processami (Relation of extreme precipitation in Crimea with macrocirculation processes) *Slozhnye sistemy*, 2020, no. 3 (36), pp. 4–29 (in Russian).
5. Kononova N. K., Gorbunov R. V., Gorbunova T. Yu., Safonova M. S. Svyaz' ekstremal'nyh osadkov na vostochnom beregu Chernogo morya s makrocirkulyacionnymi processami (Relation of extreme precipitation on the eastern shore of the Black Sea to macrocirculation processes) *Slozhnye sistemy*, 2020, no. 3 (36), pp. 30–53 (in Russian).
6. Gorbunov R. V., Gorbunova T. Yu., Tabunshchik V. A., Drygval' A. V., Safonova M. S. Dinamika atmosferyh osadkov v landshaftah Gornogo Kryma (Dynamics of precipitation in the landscapes of the Mountain Crimea) *Groznenskiy estestvennonauchnyj byulleten'*, 2021, Vol. 6, no. 4 (26), pp. 28–38 (in Russian).
7. Gushchina D. Svyaz' intensivnosti cirkulyacii v ciklonah umerennyh shirot s anomaliami temperatury vozduha i osadkov (Relationship of circulation intensity in temperate latitudes cyclones with air temperature and precipitation anomalies) *Meteorologiya i gidrologiya*, 2008, no.11, pp. 5–20 (in Russian).
8. Efimov V. V., Shokurov M. V., Barabanov V. S. Statisticheskoe modelirovanie mesyachnyh anomalij atmosferyh osadkov dlya regiona Ukrainy i Chernogo morya (Statistical modeling of monthly anomalies of atmospheric precipitation for the region of Ukraine and the Black Sea) *Morskoy gidrofizicheskij zhurnal*, 2002, no. 1, pp. 35–50 (in Russian).

9. Sizov A. A., Chekhlan A. E. Anomalii osadkov v Ukraine v svyazi s 11-letnim ciklom solnechnoj aktivnosti (Precipitation anomalies in Ukraine due to the 11-year solar activity cycle) *Morskoy gidrofizicheskij zhurnal*, 2004, no. 1, pp. 41–51 (in Russian).
10. Bagrova L. A. Osobennosti prirody i osvoeniya estestvennykh rekreacionnykh resursov yugovostochnogo Gornogo Kryma (Features of nature and development of natural recreational resources of the south-eastern mountainous Crimea): PhD thesis. Simferopol: Simferopol State University named after M.V. Frunze. M. V. Frunze (Publ.), 1974, 206 p. (in Russian).
11. Kononova N. K. Klassifikaciya cirkulyacionnykh mekhanizmov Severnogo polushariya po B. L. Dzerdzeevskomu (Classification of Northern Hemisphere circulation mechanisms according to B. L. Dzerdzeyevsky). Moskva: Voentekhnizdat (Publ.), 2009, 372 p. (in Russian).
12. Climate data for North America, South America, and Europe [Электронный ресурс]. URL: <https://sites.ualberta.ca/~ahamann/data.html>, - (дата обращения: 03.03.2022).
13. Pfister C., Kington J., Kleinlogel G., Schule H., Siffert E. High resolution spatio-temporal reconstructions of past climate from direct meteorological observations and proxy-data. *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715*. М.: Stuttgart, 1994. 329–375 pp.
14. Gechajte I. Kolebaniya cirkulyacii atmosfery kak faktor formirovaniya sil'nyh zimnih pohlodanij v vostochnoj chasti Baltijskogo regiona (Atmospheric circulation fluctuations as a factor of formation of strong winter cold spells in the eastern part of the Baltic Sea region): PhD thesis., 2016, 167 p. (in Russian).

*Поступила в редакцию 30.10.2024 г.*