

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

*Костарев С.В., Русин И.Н.* Оценка качества численного прогноза температуры воздуха в зависимости от синоптической ситуации в Пермском крае // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №3(50). С. 48–62 doi 10.17072/2079-7877-2019-3-48-62.

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

*Kostarev S.V., Rusin I.N.* Quality assessment of the numerical temperature prediction depending on the synoptic situation in the Perm region // Geographical bulletin. 2019. №3(50). P. 48–62 doi 10.17072/2079-7877-2019-3-48-62.

УДК 551.51

DOI: 10.17072/2079-7877-2019-3-62-78

**ПРОСТРАНСТВЕННО–ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСАДКОВ И ИХ  
КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ВО ВНУТРЕННИХ  
ОБЛАСТЯХ АЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА****Владимир Алексеевич Лобанов**

РИНЦ Author ID: 2290, SPIN-код: 7045-4156

e-mail: lobanov@EL6309.spb.edu

*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
Санкт-Петербург***Сапа Акмырадович Маммедов**

e-mail: sap9292@mail.ru

*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
Санкт-Петербург*

Внутренние области самого большого на Земле азиатского континента наименее всего обеспечены осадками, в связи с чем анализ их динамики в условиях современного изменения климата является актуальным. Цель проведенного исследования состояла в том, чтобы выявить наличие долговременных изменений средних значений в многолетних рядах осадков, обусловленных современным изменением климата. В качестве научной методологии исследования применялись известные статистические методы пространственно-временного анализа и моделирования временных рядов. В качестве рассматриваемых климатических характеристик выбраны многолетние ряды сумм осадков за каждый месяц года на 52 метеостанциях на территории Узбекистана, Туркменистана и Ирана. Сформирована региональная база данных по осадкам, оценена их однородность, в рядах восстановлены пропуски наблюдений, и сами ряды приведены к практически одинаковому многолетнему периоду продолжительностью в среднем в 110 лет. Выполнена классификация внутригодового распределения осадков с разделением их на влажный и сухой сезоны, установлена низкая пространственная связанность осадков, наблюдающаяся только до расстояний 90–170 км между пунктами наблюдений. Осуществлено статистическое моделирование временных рядов и определены закономерности пространственного распределения показателей стационарных и нестационарных моделей осадков. Выявлено, что в месяцы влажного периода года происходит в основном уменьшение осадков, а в месяцы сухого периода для эпизодически выпадающих осадков наблюдается их небольшое

увеличение. Построены карты разностей норм осадков, которые дают уменьшение норм годовых осадков в среднем на 14%, при наибольшем уменьшении осадков на 20% в апреле и на 14–17% в феврале и марте. Области уменьшения норм осадков относятся к южным границам пустынь, что свидетельствует о росте опустынивания и расширении области пустынь во внутренних частях азиатского континента.

**Ключевые слова:** внутренние территории Азии, суммы месячных осадков, оценка климатических изменений, пространственно-временные закономерности.

## **SPATIOTEMPORAL REGULARITIES OF PRECIPITATION AND ITS CLIMATIC CHANGES IN THE INTERNAL AREAS OF THE ASIAN CONTINENT**

**Vladimir A. Lobanov**

SPRI Author ID: 2290, SPIN-code 7045-4156

e-mail: lobanov@EL6309.spb.edu

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg*

**Sapa A. Mammedov**

e-mail: sap9292@mail.ru

*Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg*

The internal regions of the Asian continent, largest on Earth, are least of all provided with precipitation, so the analysis of its dynamics in the conditions of the modern climate change is highly relevant. The purpose of the study was to find whether there are long-term changes in mean values in the long-term series of precipitation due to the modern climate change. The methodological framework of the research was based on the well-known statistical methods of spatiotemporal analysis and time series modeling. The long-term time series of monthly precipitation at 52 meteorological stations in Uzbekistan, Turkmenistan and Iran were chosen as the climatic characteristics under consideration. In the course of research, there was formed a regional database of precipitation, its homogeneity was evaluated, observation gaps in the series were restored, and the time series themselves were reduced to an almost identical multi-year period with an average duration of 110 years. The classification of the intra-annual distribution of precipitation was carried out with its division into wet and dry seasons; it was established that the spatial correlation of precipitation is low and only occurs up to the distances of 90–170 km between the observation points. Statistical modeling of time series was carried out and regularities of spatial distribution of stationary and nonstationary precipitation models were developed. It was established that in the months of the wet period there is mainly a decrease in precipitation, while in the months of the dry period a slight increase is observed for occasional precipitation. Maps of differences in precipitation norms were constructed, which give a decrease in annual precipitation norms by an average of 14%, with the greatest decrease in precipitation by 20% in April and by 14–17% in February and March. Areas of decreasing precipitation norms belong to the southern borders of the desert, which indicates the growth of desertification and the expansion of the desert area in the inner parts of the Asian continent.

**Keywords:** internal territories of Asia, sum of monthly precipitation, assessment of climatic changes, spatiotemporal regularities.

### Введение

Внутренние области самого большого на Земле континента – Азии характеризуются в основном локальным влагооборотом, поэтому осадков здесь выпадает немного, территория представлена пустынями, полупустынями, сухими нагорьями. Ранее было выполнено исследование термического режима на территории трех государств внутренней Азии: Узбекистана, Туркменистана и Ирана [8]. Установлено, что температура воздуха в этих засушливых районах ступенчато выросла в месяцы теплого периода года в основном в конце 1990-х – начале 2000-х гг. и прирост в среднем составил  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Осадков в теплый период в этих областях выпадает очень мало, поэтому вследствие роста температуры воздуха и испарения можно ожидать уменьшения даже этих малых осадков и, как следствие, роста опустынивания. Основные осадки здесь выпадают в холодный период, поэтому практический интерес обусловлен тем, чтобы оценить, что происходит с этими также не столь многочисленными осадками в современных условиях. В 5-м докладе Международной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) показаны большие неопределенности при исследовании как современной, так и будущей динамики осадков на этой территории из-за их большой естественной изменчивости [2; 14; 16]. Поэтому исследование как пространственно-временной изменчивости осадков в разные месяцы года, так и оценка тенденций их долгопериодных изменений, являющиеся целью настоящей работы, имеют важное научное и практическое значение. При исследовании осадков решались следующие задачи:

- выбор пунктов наблюдений по территории и формирование региональной базы данных многолетних рядов месячных сумм осадков с оценкой их качества и однородности;
- восстановление пропусков наблюдений и приведение рядов к единому многолетнему периоду;
- пространственная классификация осадков по закономерностям их внутригодового распределения;
- оценка пространственной связанности осадков;
- установление пространственных закономерностей норм и изменчивости осадков в разные периоды года;
- моделирование временных рядов и обобщение показателей нестационарности по территории в разные сезоны года;
- оценка изменения норм осадков по времени и по территории.

### Материалы и методы исследования

#### *Региональная база данных по осадкам*

Из международных архивов климатических данных [11; 12] выбраны метеостанции с наиболее продолжительными рядами наблюдений, расположение которых показано на рис. 1. Всего было выбрано 52 метеостанции со средней продолжительностью многолетних рядов в 74 года, которые достаточно равномерно размещены на территории Узбекистана и Туркменистана, но редко и недостаточно – на территории Ирана (всего 8 метеостанций), а спутниковые данные по осадкам пока еще недостаточно надежны [10].

Выполненная оценка однородности на резко отклоняющиеся экстремумы по статистическим критериям Диксона и Смирнова–Граббса [5; 9] не выявила существенных неоднородностей, но в то же время была установлена большая естественная изменчивость в значениях осадков за многолетний период, особенно в сухие месяцы теплого периода года, когда осадков не наблюдалось на протяжении многих лет.

Процедура приведения к многолетнему периоду [9] позволила увеличить продолжительность рядов в среднем на 46 лет и привести ряды наблюдений к непрерывному периоду в 110 лет за XX и начало XXI вв. В то же время эффективность восстановления по рядам–аналогом с заданным минимальным значением коэффициента корреляции  $R=0,7$  даже

в среднем в разные месяцы года была не одинакова, как следует из табл. 1, где  $n$  – среднее число лет наблюдений по всем метеостанциям,  $N$  – среднее число лет наблюдений после процедуры восстановления пропусков и удлинения рядов.

Таблица 1

Эффективность приведения рядов наблюдений за осадками к многолетнему периоду  
The effectiveness of reducing the time series of precipitation observations to a long-term period

Число лет	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$n$	71	76	74	74	74	74	73	77	74	73	75	72
$N$	121	118	121	120	119	105	128	78	81	123	91	120

Наиболее продолжительный период восстановления получен в месяцы холодного периода года, наименьшее число лет было восстановлено в августе и сентябре.



Рис. 1. Расположение метеостанций с многолетними рядами осадков  
Fig. 1. Location of meteorological stations with long-term time series of precipitation

### Внутригодовое распределение осадков

Климатические внутригодовые распределения осадков для каждой метеостанции получены по многолетним рядам, приведенным к многолетнему периоду. Рассчитанная корреляционная матрица парных коэффициентов корреляции ( $R$ ) внутригодовых распределений очень неоднородна: большинство станций находятся на территории Узбекистана и Туркменистана, где  $R$  больше 0,8 и даже 0,9, а на территории Ирана значения  $R$  намного ниже. Для классификации внутригодовых распределений помимо корреляции рассматривались также величины осадков и периоды года с их максимумами и минимумами [3], а также строились пространственные корреляционные функции (ПКФ) вида:  $R=f(D)$ , где  $R$  – коэффициенты парной корреляции между внутригодовыми климатическими функциями на всех метеостанциях,  $D$  – расстояния между метеостанциями в км [6]. В ПКФ задавался

критический коэффициент корреляции  $R_{кр}=0,6-0,7$  и выбиралось соответствующее ему расстояние (радиус корреляции) между станциями ( $D_{кр}$ ), больше которого связанность считалась неэффективной. В результате были выделены однородные районы с близкими внутригодовыми распределениями осадков. На рис.2 показаны осредненные по району внутригодовые распределения осадков на территории Ирана, где было выделено 3 однородных района. При  $R=0,6$  максимальное расстояние между станциями составляло 800 км.

Особенности однородных районов и распределений осадков следующие:

– район 1 (40848 Шираз и 40858 Бушер) находится вблизи Персидского залива, где наибольшие месячные осадки, составляющие 60–80 мм, выпадают в декабре–январе, а в сухой и теплый период года с мая по октябрь осадков практически нет;

– район 2 характеризует в основном внутренние сухие области Ирана, где осадков существенно меньше и их наибольшие значения всего в 25–35 мм приходятся на декабрь–апрель с максимумом в марте, а период практического отсутствия осадков охватывает июнь–сентябрь;

– район 3 (40706 Табриз) на северо–западе относится к области влияния Каспийского моря, максимальные месячные осадки достигают уже 50–60 мм весной с максимумом в апреле, а в сухой период с июля по сентябрь небольшие осадки также имеют место.

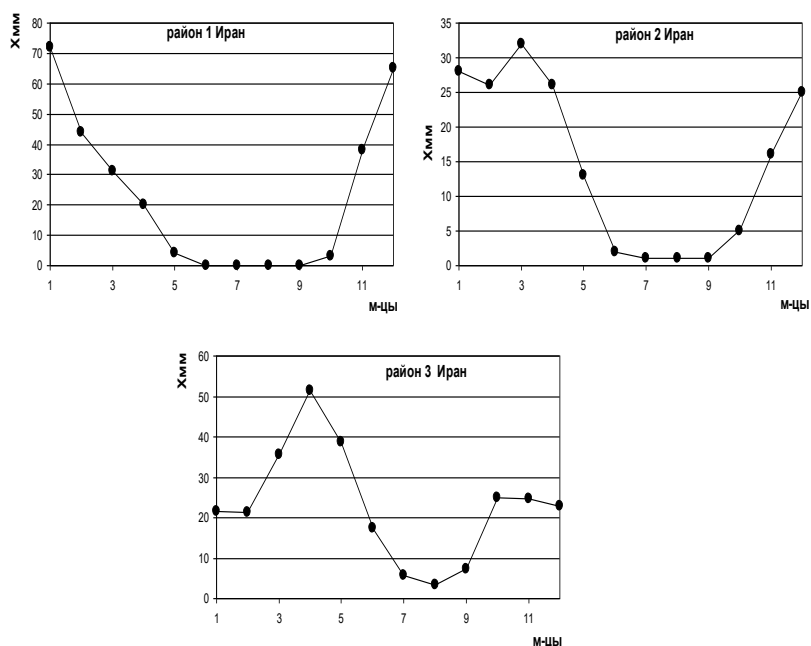


Рис. 2. Осредненные внутригодовые распределения осадков в однородных районах Ирана  
Fig. 2. Average intra-annual distributions of precipitation in homogeneous areas of Iran

В Узбекистане и Туркменистане значения коэффициентов парной корреляции были высокими и достигали  $R=0,8-0,9$ , и радиус корреляции практически распространяется на всю территорию. Поэтому для этих республик было выделено по одному однородному району, которые приведены на рис. 3. Исключение составили метеостанция в южных предгорьях Узбекистана (38470 Шахмардан) с внутригодовым максимумом в мае и метеостанция в Туркменистане около Каспия (38750 Эсенгулы) с осадками 20–25 мм с октября по апрель и 7–10 мм с мая по сентябрь.

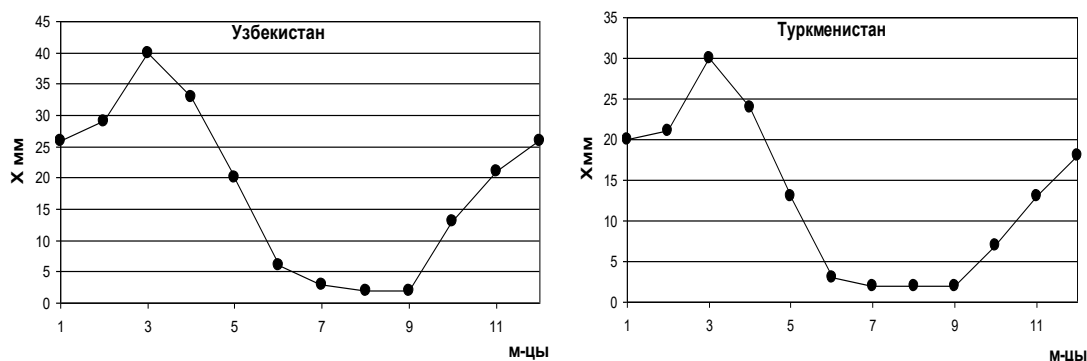


Рис. 3. Внутригодовые распределения осадков для Узбекистана и Туркменистана

Fig. 3. Intra-annual distributions of precipitation for Uzbekistan and Turkmenistan

При сопоставлении внутригодовых распределений осадков Узбекистана, Туркменистана, а также внутренних областей Ирана (район 2, рис. 2) можно сделать вывод о том, что они подобны: максимум осадков в марте и практическое отсутствие осадков с июня по сентябрь. Отличие состоит только в том, что нормы наибольших осадков в Узбекистане несколько выше, чем в Туркменистане и Иране, что связано с пространственным распределением осадков.

#### *Пространственное распределение норм и изменчивости осадков*

Внутригодовые распределения осадков практически подобны для всей рассматриваемой территории, но вместе с тем нормы месячных наибольших осадков варьируют от 16 до 92 мм. Пространственные распределения средних многолетних годовых осадков и осадков марта, как наиболее влажного месяца, приведены на рис. 4. На пространственных распределениях выделяются две сухие области (пустыни Средней Азии и сухие внутренние области Ирана), в которых суммы годовых осадков не превышают 120 мм, а суммы за март – 21 мм, и достаточно увлажненная область на юго-востоке Узбекистана, которая в марте расширяется на юг Туркменистана и северо-восток Ирана с годовыми осадками 300 – 600 мм и суммами за март 50–90 мм. Выделяются также более влажные области у Персидского залива и около южного побережья Каспия с годовыми осадками 200–300 мм и с осадками марта 30–40 мм.

Осадки рассматриваемой территории отличаются тем, что они имеют очень большую естественную изменчивость. Пространственные распределения их средних квадратических отклонений (СКО) за год и март приведены на рис. 4. Сопоставление пространственных распределений норм осадков и СКО как за год, так и за наиболее влажный месяц март позволяет утверждать, что они подобны областям с большими нормами осадков, которым соответствуют и большие СКО.

Поэтому были построены региональные зависимости, связывающие нормы осадков и их СКО за каждый месяц, имеющие вид:

$$\text{СКО}_{\text{фев}} = 0,491X_{\text{ср фев}} + 5,607, \quad R = 0,87, \quad (1)$$

$$\text{СКО}_{\text{март}} = 0,359X_{\text{ср март}} + 9,125, \quad R = 0,89, \quad (2)$$

$$\text{СКО}_{\text{апр}} = 0,406X_{\text{ср апр}} + 9,945, \quad R = 0,90, \quad (3)$$

$$\text{СКО}_{\text{год}} = 0,203X_{\text{ср год}} + 25,387, \quad R = 0,91, \quad (4)$$

где  $X_{\text{ср}}$  – средние квадратические отклонения и нормы осадков за соответствующие месяцы и год,  $R$  – коэффициент корреляции уравнения.

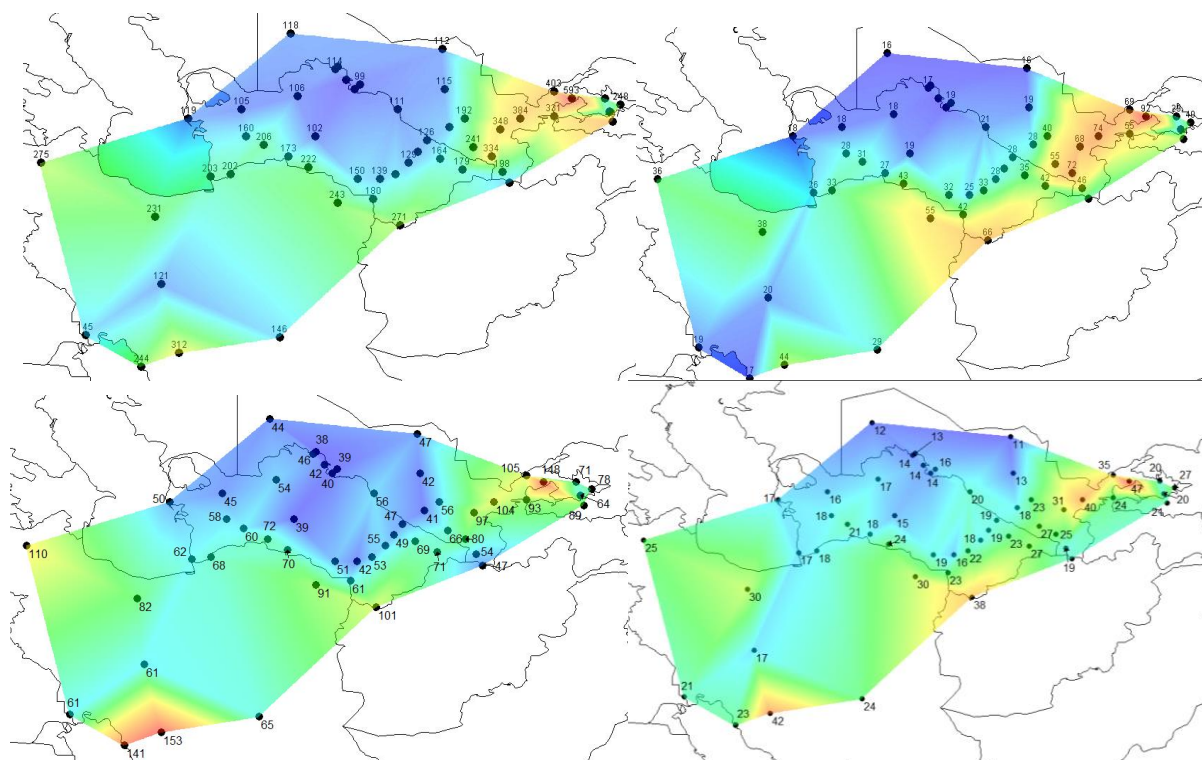


Рис. 4. Пространственные распределения норм осадков (вверху): за год (слева) и март (справа) и стандартных отклонений (внизу): за год (слева) и март (справа)

Fig. 4. Spatial distributions of precipitation norms (above): for a year (left) and for March (right) and standard deviations (below): for a year (left) and for March (right)

Полученные региональные зависимости являются очень тесными и характеризуют установленную региональную закономерность между средними осадками и их климатической изменчивостью. При этом при построении зависимости (4) были исключены две метеостанции Шираз и Бушер с аномальными данными (очень высокая изменчивость осадков) на юге Ирана.

#### *Пространственная связанность многолетних рядов*

При исследовании многолетних временных рядов осадков прежде всего необходимо оценить их пространственную связанность, чтобы априори определить территорию подобию в получаемых закономерностях [1]. Пространственная связанность для многолетних рядов осадков также, как и для их внутригодовых климатических функций, оценивалась на основе ПКФ как для всей рассматриваемой территории, так и отдельно по трем государствам. В соответствии с методикой, изложенной в работе [7], оценивались эффективность и однородность ПКФ в каждой градации расстояний, а также  $D_{кр}$  в км, соответствующее  $R_{кр}=0,6$ . Результаты оценки  $R$  и однородности  $R$  в соответствующей градации расстояния, полученные на основе 37 построенных ПКФ (12 месяцев и 4 района за исключением 11 случаев рядов с большим числом лет отсутствующих осадков в летние сухие месяцы), приведены в табл. 2.

Знак «+» обозначает однородность  $R$  в градациях расстояния, соответствующих  $D_{кр}$ , знак «-» – неоднородность. В случае неоднородности полученный разброс коэффициентов  $R$  в градации был статистически значимо больше теоретического, и ПКФ не являлась однородной, т.е. она анизотропна, зависит от азимута и должна разделяться на составляющие.

Как следует из данных табл. 2, практически для всех градаций  $D_{кр}$  ПКФ неоднородны, а сам радиус корреляции очень небольшой и варьирует от 85–90 км для месяцев с большими осадками для Узбекистана и Туркменистана до 170 км в месяцы с малыми осадками. Для Ирана станции расположены более редко, поэтому и  $D_{кр}$  больше и составляет несколько сот км, хотя надежность его определения по 8 станциям невысокая.

Таким образом, проведенный анализ межрядной связанности временных рядов осадков позволяет сделать априорное заключение, что выявляемые климатические изменения в рядах осадков вряд ли будут связаны между собой для большой территории.

Таблица 2

Оценка предельных расстояний ( $D_{кр}$ ) связанности многолетних рядов осадков при  $R \geq 0,6$   
Estimation of the limiting distances ( $D_{cr}$ ) of relationships for long-term time series of precipitation at  $R \geq 0.6$

Месяц	Вся территория		Узбекистан		Туркменистан		Иран	
	$D_{кр, км}$	Одн.	$D_{кр, км}$	Одн.	$D_{кр, км}$	Одн.	$D_{кр, км}$	Одн.
1	127	–	92	–	91	–	326	+
2	132	–	102	–	94	–	466	–
3	121	–	90	–	91	–	291	–
4	121	–	91	–	88	–	347	+
5	144	–	98	–	91	–	389	+
6			128	–	176	–		
7			130	–				
8								
9			133	–	167	–		
10	132	–	85	–	111	–	583	–
11	121	–	85	–	97	–	268	+
12	115	–	85	–	86	–	355	–

### Методика моделирования

Методически разделение осадков на два периода: холодный, где осадки выпадают регулярно, и теплый, в который осадков может не быть несколько месяцев или лет, обосновано разными подходами их моделирования. Если для осадков относительно холодного периода можно работать с рядами данных за каждый год и осуществлять аппроксимацию временных рядов стационарными и нестационарными моделями, то для эпизодически выпадающих осадков можно оценить только частоту их появления и интервал в годах между событиями. Для оценки проявления современных изменений климата в рядах осадков месяцев холодного полугодия (с октября по май) применялись модели стационарной и нестационарной выборки и показатели эффективности нестационарных моделей, вычисляемые по формулам [4; 6; 7]:

$$\Delta_{тр} = \left( \frac{\bar{b}y - \bar{b}\varepsilon}{\bar{b}y} \right) * 100\% \quad , \quad (5)$$

$$\Delta_{ступ} = \left( \frac{\sigma_y - \sigma_{ступ}}{\sigma_y} \right) * 100\% \quad , \quad (6)$$

где:  $\Delta_{тр}$ ,  $\Delta_{ступ}$  – относительные отличия (в %) модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарной выборки;  $\sigma_y$ ,  $\sigma_\varepsilon$ ,  $\sigma_{ступ}$  – стандартные отклонения остатков соответственно моделей случайной выборки, линейного тренда и ступенчатых изменений.



### Результаты и их обсуждение

#### Выявление климатических изменений осадков холодного периода

Для оценки устойчивости показателей эффективности нестационарных моделей рассматривались ряды наблюдений с разным годом начала: 1920-й, 1940-й, 1960-й. Статистически значимые коэффициенты корреляции линейного тренда ( $r$ ) и показатели эффективности нестационарных моделей ( $\Delta_{тр, \%}$  и  $\Delta_{ступ, \%}$ ) приведены в табл. 3 при начальном годе наблюдений (1960) для всех метеостанций.

Из результатов табл. 3 следует, что число нестационарных рядов со статистически значимыми коэффициентами корреляции линейного тренда не столь велико и в среднем составляет 11% общего их числа при минимуме 2% в октябре (1 случай) и 7,7% в ноябре, декабре, январе и мае и максимуме 13,3% в марте и 23,1% в апреле. Поэтому наиболее нестационарными являются осадки в месяцы их наибольших значений, т.е. в марте–апреле (рис. 2, 3). Следующая закономерность состоит в том, что в месяцы с наибольшим в году количеством осадков идет их уменьшение, так как коэффициенты корреляции линейного тренда в марте и апреле, а также и в мае отрицательны. Также отрицательны значимые коэффициенты трендов в декабре и январе. Поэтому можно сделать вывод о том, что хотя осадки изменяются незначительно ( $\Delta_{тр, \%}$  и  $\Delta_{ступ, \%}$  в основном меньше 10%), но в целом идет тенденция уменьшения осадков, которых в данном регионе итак немного.

Примеры нестационарных многолетних рядов осадков апреля приведены на рис. 5.

Таблица 3

Статистически значимые  $r$  и соответствующие им  $\Delta_{тр}$  и  $\Delta_{ступ}$   
Statistically significant  $r$  and the corresponding  $\Delta_{тр}$  and  $\Delta_{ступ}$

Код станции	$\Delta_{тр, \%}$	$\Delta_{ступ, \%}$	$r$	Код станции	$\Delta_{тр, \%}$	$\Delta_{ступ, \%}$	$r$
Октябрь				Март			
38804	4,9	7,9	0,31	38750	3,4	4,6	-0,26
ноябрь				38812	4,3	5,5	-0,29
38987	4,5	14,5	0,30	38911	5,4	7,7	-0,32
40858	9,9	12,6	0,43	40706	10,0	13,7	-0,43
40754	3,3	11,3	0,25	38396	6,0	11,3	0,34
40858	6,8	8,8	0,36	40841	5,3	7,7	-0,32
Декабрь				38475	3,0	5,8	-0,24
38804	9,5	8,0	0,43	Апрель			
40858	12,8	18,7	-0,49	38388	5,2	8,7	-0,32
38141	6,2	21,8	-0,35	38413	3,0	4,9	-0,24
38178	8,6	9,4	-0,41	38500	7,5	12,3	-0,38
Январь				38511	7,4	10,7	-0,38
40841	8,1	12,0	-0,39	38687	6,4	6,9	-0,35
38647	8,8	18,8	-0,41	38759	7,4	13,6	-0,38
38388	3,2	6,9	-0,32	38799	6,4	6,8	-0,35
38647	3,1	11,5	-0,25	38806	8,0	10,9	-0,39
Февраль				38880	5,1	7,0	-0,32
38396	10,2	9,8	0,44	38895	6,7	6,0	-0,36
38455	9,6	12,1	0,43	38911	3,7	8,1	-0,27
38470	9,0	18,0	0,41	38974	5,6	6,4	-0,33
38656	6,6	16,7	0,36	Май			
38759	5,4	11,1	0,32	38656	3,7	7,4	-0,27
38687	5,1	5,6	0,32	38750	4,3	9,7	-0,29
38799	3,4	10,6	0,26	38895	5,5	7,5	-0,33
38500	4,3	5,7	0,29	38911	4,5	8,2	-0,33
38683	4,3	6,0	0,29				

Как следует из динамики рядов, с начала 1980-х гг. произошло ступенчатое уменьшение средних значений осадков. Так, на метеостанции 38388 Екедже (Туркменистан) норма осадков уменьшилась в 2 раза с 30 мм до 14 мм для второго периода наблюдений, начиная с 1982 г. На метеостанции 38895 Байрам-Али (Туркменистан) норма осадков уменьшилась с 26 мм до 18 мм, хотя они имеют и большую естественную изменчивость от 3 мм до 82 мм. На метеостанции 38759 Гызылетрек (Туркменистан) норма уменьшилась с 23 мм до 12 мм при вариации от 0 мм до 61 мм, а на метеостанции 38806 Бырдалык (Туркменистан) – с 24 мм до 16 мм при вариации от 0 мм до 94 мм. На некоторых метеостанциях уменьшились не только нормы, но и дисперсии.

Пространственные закономерности уменьшения осадков апреля приведены на рис.6 в виде поля коэффициентов корреляции линейных трендов.

Как видно из рис. 6, наиболее существенные тренды уменьшения осадков наблюдаются в центральной части территории, где осадков еще не так мало. Однако эти области находятся на южной оконечности пустынь, и если количество осадков будет уменьшаться, то возможна опасность продвижения пустынь на юг и начала опустынивания и в этих районах [13; 15; 18].

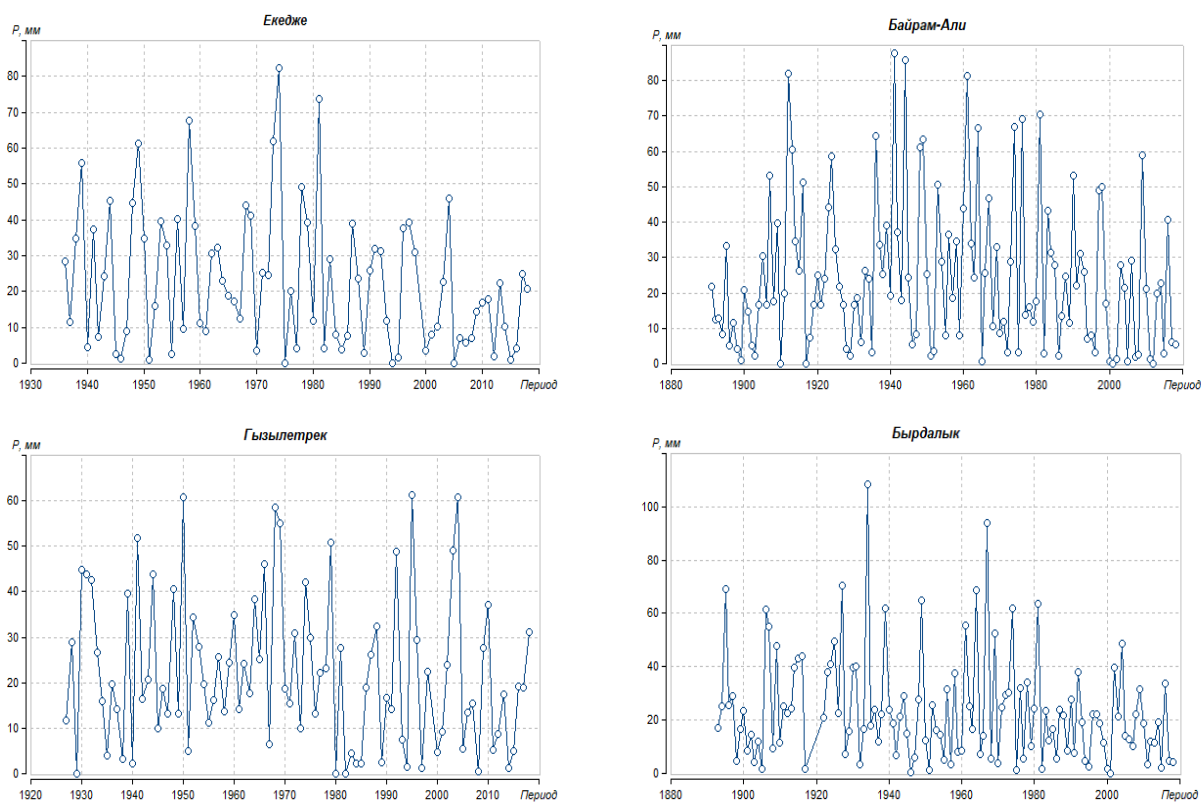


Рис. 5. Примеры временных рядов уменьшения осадков апреля с начала 1980-х гг.  
Fig. 5. Examples of time series for decreased precipitation in April since the early 1980s

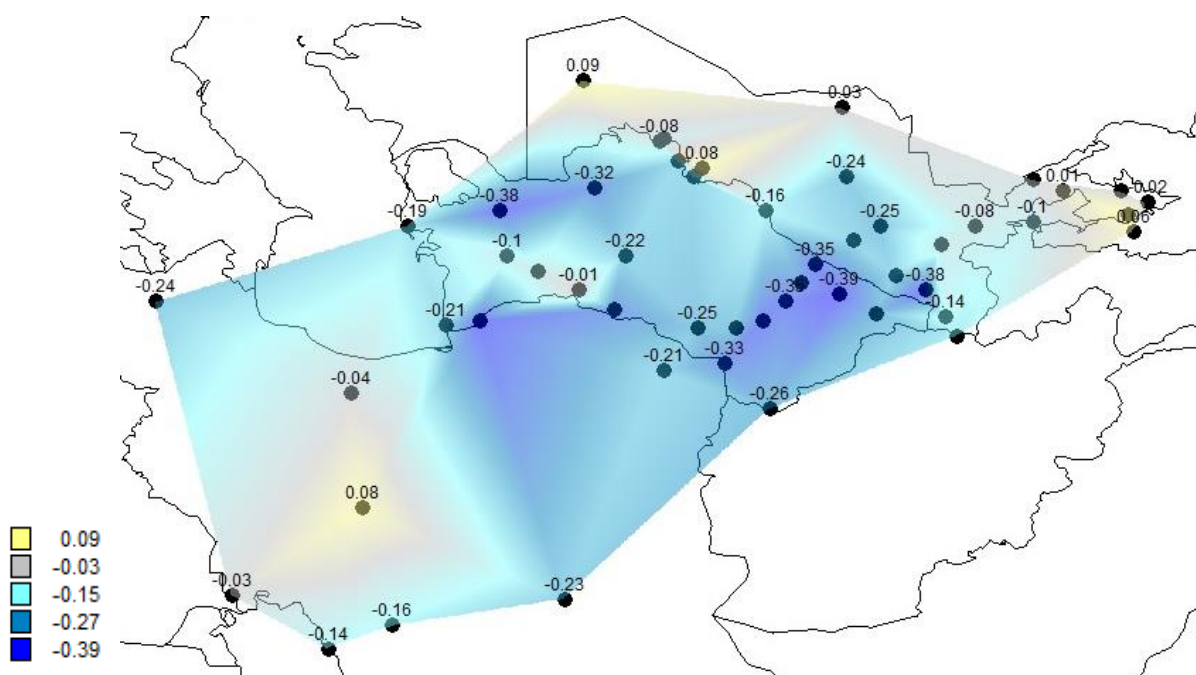


Рис. 6. Пространственное распределение коэффициентов корреляции линейного тренда в рядах осадков апреля  
Fig. 6. The spatial distribution of the correlation coefficients of the linear trend in the time series of precipitation in April

#### *Выявление климатических изменений осадков теплого периода*

В теплый (или сухой) период года с июня по сентябрь осадков выпадает существенно меньше и их месячные нормы составляют в среднем для территории менее 5 мм (рис. 2, 3), хотя различия норм по станциям варьируют в основном от 0 мм до 10–12 мм. Исключение составляет метеостанция Шахмардан, на которой нормы осадков даже летом составляют десятки мм в месяц. Особенность выпадения осадков на большинстве метеостанций в летние месяцы состоит в том, что они могут отсутствовать в отдельные годы и даже много лет подряд. Поэтому за многолетний период набирается всего несколько событий осадков, на основе которых оценить динамику их многолетних изменений по моделям и рассчитать стандартные отклонения остатков в (5) и (6) невозможно. Можно сравнить только суммы или средние осадки за два периода времени, например, до 1981 г. и после, когда произошло ступенчатое изменение осадков, как показано в предыдущем разделе. Поэтому анализ осадков сухого периода выполнен в двух вариантах: обычное моделирование временных рядов с определением  $\Delta_{тр}$  и  $\Delta_{ступ}$  при числе лет с осадками от 20 и более и расчеты средних за два периода при числе лет с осадками менее 20 за многолетний период. Примеры многолетних рядов с малым числом лет с осадками для июля даны на рис. 7.

## Метеорология

## Пространственно-временные закономерности осадков и их климатических изменений...

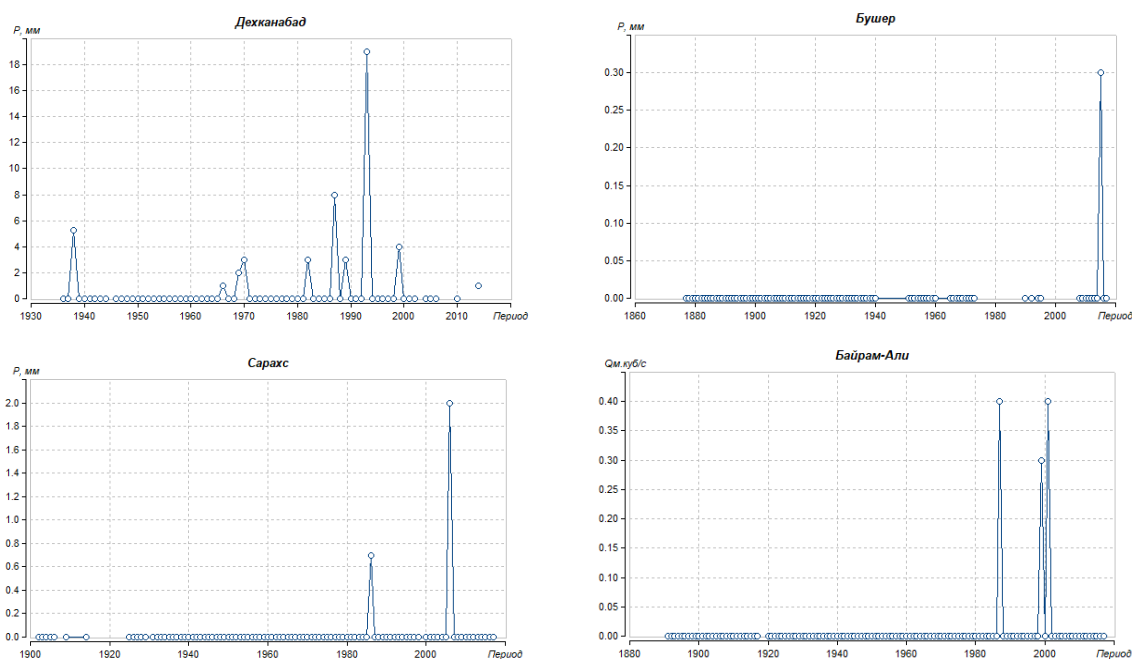


Рис. 7. Примеры многолетних рядов с эпизодическим выпадением осадков в июле  
 Fig. 7. Examples of long-term time series with occasional precipitation in July

Моделирование временных рядов с регулярным выпадением осадков показало, что эффективные нестационарные модели с  $\Delta > 10\%$  отсутствуют во все месяцы, а число статистически значимых коэффициентов корреляции линейного тренда составляет всего по 2 случая в июне–августе, а в сентябре совсем отсутствует.

Для рядов с эпизодическим выпадением осадков в среднем для территории в разные месяцы получены следующие значения разности норм за первый (1940–1981 гг.) и второй (1982–2017 гг.) периоды наблюдений: +0,7 мм в июне, –0,3 мм в июле, +0,3 мм в августе и +0,5 мм в сентябре. Поэтому в целом можно считать, что за летние месяцы нормы возросли всего на 0,3 мм. По отдельным метеостанциям наибольшее изменение норм составляло 1–2 мм как в сторону уменьшения, так и увеличения. Исключением являлись осадки сентября, которые увеличились практически на всех метеостанциях.

#### Карты изменения норм осадков

В связи с тем, что 1982 год во многих случаях был связан с переходом от одного режима осадков к другому, для месяцев с достаточно большими осадками в этом регионе (февраль–апрель), а также для сумм годовых осадков были найдены разности норм за два полупериода. Эти разности представлены в виде карт для года и основных месяцев с осадками (с февраля по апрель) на рис. 8.

Как следует из карт разностей годовых норм, падение норм осадков наблюдается на большей части территории, а рост осадков – только в Ферганской долине на юге Узбекистана и на севере территории в зоне влияния Каспия. Средняя разность норм для всей территории составляет –12 мм, а при исключении аномально большого падения нормы в 131 мм для Бушера средняя разность равна –10 мм. Если отдельно рассмотреть области падения и роста норм осадков, то в области уменьшения средняя разность норм составляет 29 мм и 26 мм (при исключении Бушера), а в области роста – также 26 мм, но число метеостанций в ней составляет всего 30%, а сама территория – не более 15% общей. Если средняя норма годовых осадков для всей территории составляет 185 мм, то 26 мм – 14%.

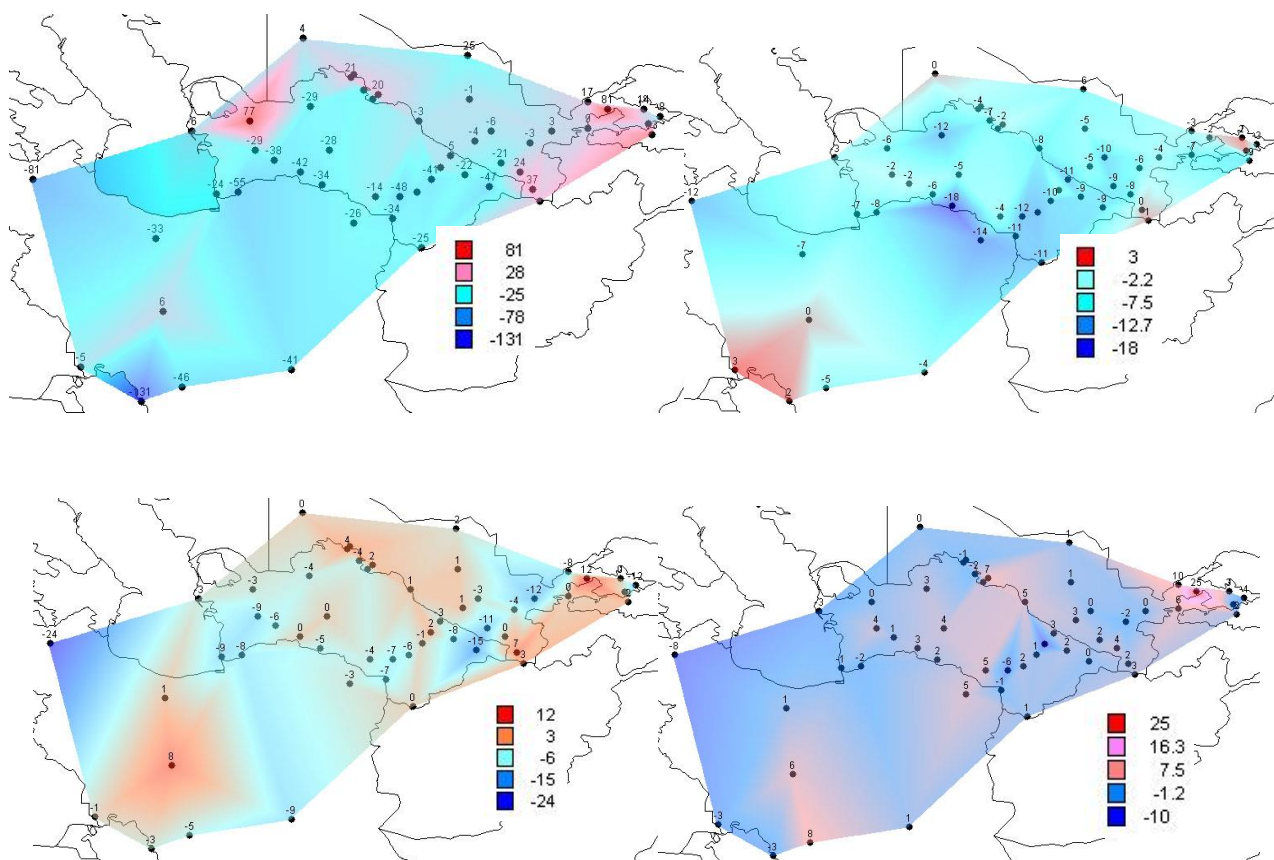


Рис. 8. Пространственные распределения разностей норм осадков для года (слева сверху), апреля (справа сверху), марта (слева снизу) и февраля (справа снизу)

Fig. 8. Spatial distributions of differences in precipitation norms for: a year (top left), April (top right), March (bottom left) and February (bottom right)

Для апреля области роста норм осадков практически отсутствуют, а средняя разность норм, характеризующая падение осадков, равна  $-6$  мм, что составляет 20% средней нормы в 29 мм для территории. Для марта количество областей увеличения норм осадков увеличивается, занимая примерно половину территории. Средняя территориальная разность норм равна  $-3$  мм, а отдельно для области падения составляет  $-6$  мм, а для области роста – всего  $+3$  мм. При средней по территории норме осадков марта, равной 35 мм, их падение составляет 17%. Пространственное распределение разностей норм осадков февраля практически схоже на их распределение в марте. При средней территориальной норме 25 мм в области падения осадков разность норм составляет  $-3,5$  мм, или 14%.

### Выводы

Проведенное исследование пространственных-временных закономерностей осадков внутренних областей Азии позволяет сделать следующие выводы:

- внутригодовые распределения осадков подобны практически для всей территории с разделением на относительно влажный (ноябрь–май с максимумом в марте) и сухой (июнь–сентябрь) сезоны;
- установлены тесные территориальные эмпирические зависимости между климатическими нормами и СКО осадков за год и месяцы влажного сезона и выделены две сухие области, в которых суммы годовых осадков не превышают 120 мм, и достаточно увлажненная область на юго-востоке Узбекистана, которая в марте расширяется на юг Туркменистана и северо-восток Ирана с годовыми осадками 300–600 мм;

- пространственная связанность осадков низкая и радиус корреляции при  $R=0,6$  варьирует всего от 85–90 км для месяцев с большими осадками для Узбекистана и Туркменистана до 170 км в месяцы с малыми осадками;
- установлено, что в месяцы влажного периода года в основном произошло уменьшение осадков, причем ступенчато в начале 1980-х гг., а в месяцы сухого периода для эпизодически выпадающих осадков наблюдается некоторое их увеличение, но в среднем всего на 0,3 мм с максимумами на 1–2 мм;
- полученные карты разностей норм осадков за год и месяцы влажного периода показывают, что с 1982 г. нормы годовых осадков уменьшились в среднем на 14%, наибольшее уменьшение осадков на 20% имеет место в апреле и на 14–17% в феврале и марте;
- территориально области существенного уменьшения норм осадков относятся к южным границам пустынь, что вполне может быть связано с будущим опустыниванием в этом направлении;
- помимо областей падения норм осадков имеют место и области их роста на 15–20% на юго-востоке Узбекистана и на севере рассматриваемой территории в зоне влияния Каспия, а также вблизи Персидского залива, что, возможно, связано с ростом испарения с этих акваторий [17].

#### Библиографический список

1. Аптуков В.Н., Митин В.Ю. Фрактальный анализ метеорологических рядов с помощью метода минимального покрытия // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №2(49). С. 67–79. doi10.17072/2079-7877-2019-2-67-79.
2. Изменение климата, 2013 г. Физическая научная основа: резюме для политиков. Доклад рабочей группы I МГЭИК: техническое резюме / под ред. Томас Ф. Стоккер, Дахэ Цинь, Джиан-Каспер Платтнер, Мелинда М. Б. Тигнор, Симон К. Аллен, Джудит Бошунг, Александер Науэлс, Юй Ся, Винсент Бекс, Паулин М. Мидглей, 2013. 222 с.
3. Калинин Н.А. Динамическая метеорология. Пермь: Перм. кн. изд-во, 2009. 256 с.
4. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений // Учен. зап. РГГМУ. 2010. №14. С. 73–88.
5. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Ч. 1. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2011. 144с.
6. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. Ч. 2. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2012. 141 с.
7. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Ч. 2 Динамика климата. Кн. 2. СПб: Изд-во РГГМУ, 2018. 377 с.
8. Лобанов В.А., Маммедов С.А. Оценка климатических изменений температуры воздуха и их устойчивости на территории Центральной Азии // Учен. зап. РГГМУ. 2018. №51. С. 22–26.
9. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. М.: Госстрой России, 2004. 72 с.
10. Подрезов О.А., Рыскаль М.О. Валидация данных по осадкам, получаемых по данным мультиспутниковой модели TMPA для горной территории Кыргызстана // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №1(48). С. 63–74. doi10.17072/2079-7877-2019-1-63-74.
11. Сайт метеорологического института Королевства Нидерланды (KNMI) <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone> (дата обращения: 17.09.2019).
12. Сайт ВМО <https://worldweather.wmo.int/en/home.html> (дата обращения: 17.09.2019).

13. Cai, W., T. Cowan, and M. Thatcher, 2012a: Rainfall reductions over Southern Hemisphere semi-arid regions: The role of subtropical dry zone expansion. *Sci. Rep.*, 2. doi: 10.1038/srep00702.
14. *Climate Change 2013*. The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley Cambridge University Press. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sro Paolo, Delhi, Mexico City. 1552 pp.
15. Dai A. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Clim. Change*. 2013. No.3. P. 52–58.
16. Endo H., Kitoh A., Ose T., Mizuta R., Kusunoki S. Future changes and uncertainties in Asian precipitation simulated by multiphysics and multi-sea surface temperature ensemble experiments with high-resolution Meteorological Research Institute atmospheric general circulation models (MRI-AGCMs). *J. Geophys. Res.*, 117, D16118. 2012.
17. Goswami B.N., Venugopal V., Sengupta D., Madhusoodanan M. S., Xavier P.K. Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment. *Science*. 2006. No.314. P. 1442–1445.
18. Neelin J. D., Munnich M., Su H., Meyerson J.E., Holloway C.E. Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2006. No.103. P. 6110–6115.

### References

1. Aptukov V.N., Mitin V.Yu. (2019), *Fraktal'nij analiz meteorologicheskikh riadov s pomoshchu metoda minimal'nogo pokritia* [Fractal analysis of meteorological series using the minimum coverage method] *Geographical bulletin*, No2 (49). p. 67–79. doi10.17072 / 2079-7877-2019-2-67-79.
2. Climate Change, (2013), *Physical Science Background Summary for Policymakers Report of the IPCC Working Group I Technical Summary*. Edited by: Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Casper Plattner, Melinda M. B. Tignor, Simon C. Allen, Judith Boshung, Alexander Nawels, Yu Xia, Vincent Becks, Pauline M. Midgley, 2013. 222 p.
3. Kalinin N.A. (2009), *Dinamicheskaya meteorologiya* [Dynamic meteorology] Textbook. 2nd ed., Rev. Perm State Nat. Res. Univ., Perm. 256 p.
4. Lobanov V.A., Shadursky A.E., (2010), *Primeneniye empiriko-statisticheskikh metodov dlya modelirovaniya i analiza klimaticheskikh izmeneniy*. [Application of empirical-statistical methods for modeling and analysis of climate change]. Scientific notes RSGMU No 14, p.73–88.
5. Lobanov V.A., Smirnov I.A., Shadursky A.E., (2011), *Praktikum po klimatologii. Chast' 1. (uchebnoye posobiye)* [Workshop on climatology. Part 1. (Textbook)]. Ed. RSHU, St. Petersburg. 144 p.
6. Lobanov V.A., Smirnov I.A., Shadursky A.E., (2012), *Praktikum po klimatologii. Chast' 2. (uchebnoye posobiye)* [Workshop on climatology. Part 2. (Textbook)]. Ed. RSHU, St. Petersburg. 141 p.
7. Lobanov V.A. (2018), *Leksii po klimatologii. Chast' 2 Dinamika klimata. Kniga 2 v dvukh knigakh: uchebnik*. [Lectures on climatology. Part 2 Climate dynamics. Book 2 in two books: a textbook]. Ed. RSHU, St. Petersburg. 377 p.
8. Lobanov V.A., Mammedov S.A., (2018), *Otsenka klimaticheskikh izmeneniy temperatury vozdukhha i ikh ustoychivosti na territorii Tsentral'noy Azii* [Assessment of climate changes in air temperature and their stability in Central Asia]. Scientific notes of the RSHU, № 51, p. 22–26.
9. *Opredeleniye osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* (2004), [Determination of the main calculated hydrological characteristics]. SP 33–101–2003. - M: Gosstroy of Russia. 72 p.

10. Podrezov O.A., Ryskal M.O. (2019) *Validatsia dannikh po osadkam, poluchaemim po dannim multisputnikovoj modeli TMPA dlia gornoj territorii Kirgizstana* [Validation of precipitation data obtained according to the multisatellite TMPA model for the mountainous territory of Kyrgyzstan] Geographical bulletin. No1(48). pp. 63–74. doi10.17072 / 2079-7877-2019-1-63-74.
11. *Sayt meteorologicheskogo instituta Korolevstva Niderlandy* [Website of the Meteorological Institute of the Kingdom of the Netherlands] (KNMI) <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone> (Date of access to the resource 17.09.2019).
12. The WMO Website <https://worldweather.wmo.int/en/home.html> (Date of access to the resource 17.09.2019).
13. *Cai, W., T. Cowan, and M. Thatcher*, 2012a: Rainfall reductions over Southern Hemisphere semi-arid regions: The role of subtropical dry zone expansion. *Sci. Rep.*, 2. doi: 10.1038/srep00702.
14. Climate Change (2013), *The Physical Science Basis*. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley Cambridge University Press. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sro Paolo, Delhi, Mexico City. 1552 p.
15. *Dai, A.*, 2013: Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Clim. Change*, 3, 52–58.
16. *Endo, H., A. Kitoh, T. Ose, R. Mizuta, and S. Kusunoki*, 2012: Future changes and uncertainties in Asian precipitation simulated by multiphysics and multi-sea surface temperature ensemble experiments with high-resolution Meteorological Research Institute atmospheric general circulation models (MRI-AGCMs). *J. Geophys. Res.*, 117, D16118.
17. *Goswami, B. N., V. Venugopal, D. Sengupta, M. S. Madhusoodanan, and P. K. Xavier*, 2006: Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment. *Science*, 314, 1442–1445.
18. *Neelin, J. D., M. Munnich, H. Su, J. E. Meyerson, and C. E. Holloway*, 2006: Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 103, 6110–6115.

Поступила в редакцию: 11.08.2019

### Сведения об авторах

**Лобанов Владимир Алексеевич**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры метеорологии, климатологии и  
охраны атмосферы, Российский  
государственный гидрометеорологический  
университет;  
195196, Россия, г. Санкт-Петербург,  
Малоохтинский пр., д. 98

### About the authors

**Vladimir A. Lobanov**  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Meteorology, Climatology and  
Air Protection, Russian State  
Hydrometeorological University;  
98, Malookhtinsky pr., St. Petersburg, 195196,  
Russia

e-mail: lobanov@EL6309.spb.edu



**Маммедов Сапа Акмырадович**  
аспирант кафедры метеорологии,  
климатологии и охраны атмосферы,  
Российский государственный  
гидрометеорологический университет;  
195196, Россия, г. Санкт-Петербург,  
Малоохтинский пр., д. 98

**Sapa A. Mammedov**  
Ph.D.-student, Meteorological Faculty, Russian  
State Hydrometeorological University;  
98, Malookhtinsky pr., St. Petersburg, 195196,  
Russia

e-mail: sap9292@mail.ru

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

*Лобанов В.А., Маммедов С.А.* Пространственно-временные закономерности осадков и их климатических изменений во внутренних областях азиатского континента // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №3(50). С. 62–78. doi 10.17072/2079-7877-2019-3-62-78.

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

*Lobanov V.A., Mammedov S.A.* Spatiotemporal regularities of precipitation and its climatic changes in the internal areas of the Asian continent // Geographical bulletin. 2019. №3(50). P. 62–78. doi 10.17072/2079-7877-2019-3-62-78.