

УДК 551.5+551.3+51-7

DOI: 10.35330/1991-6639-2020-3-95-64-73

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КЛИМАТА В ГОРНЫХ РАЙОНАХ ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Е.А. КОРЧАГИНА

ФГБНУ «Федеральный научный центр
«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»
Центр географических исследований
360002, КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2
E-mail: kbncran@mail.ru

Методы математической статистики использованы при построении схемы расчета динамики параметров климата в задачах подверженности территорий опасным природным процессам. Параметры климата рассчитаны на основе обработки результатов многолетних инструментальных измерений характеристик атмосферы на метеостанциях. Моделирование трендов динамических рядов и исследование устойчивости тенденций проведены методами регрессии и корреляции рангов. Исследована динамика таких элементов климата, как атмосферное давление, упругость водяного пара, приземная температура воздуха, суммы атмосферных осадков в горной зоне Карачаево-Черкесской и Кабардино-Балкарской республик.

Ключевые слова: метеорологические параметры, опасные природные процессы, статистическое моделирование, математико-статистическое моделирование, устойчивость тенденции.

ВВЕДЕНИЕ

Характеристика изменения климатических параметров представляет интерес для исследования подверженности территории республик Северного Кавказа опасным природным процессам [1-3].

Динамика многолетних средних значений параметров климата отражает изменение или постоянство условий, в которых формируются опасные природные процессы, характерные для горных территорий: сели, оползни, лавины и др.

Исследование наличия значимых изменений в динамике временных рядов метеорологических параметров атмосферы и климатических характеристик районов Северного Кавказа зачастую является частью комплексных работ по исследованию деградации оледенения, участвовавших наводнений и проявлений опасных природных процессов [4, 5]. Вследствие чего вопросы выбора математических методов расчета, проверка значимости полученных результатов остаются за пределами рассмотрения.

Еще одной проблемой при анализе изменений климатических параметров на временных интервалах, начинающихся ранее 1966 г., является неоднородность данных, вызванная сменой приборов и методов измерений на метеостанциях. Учесть этот момент при составлении рядов метеоэлементов удастся не всегда по причине отсутствия данных для исследуемых метеостанций [6, 7].

На примере горных районов республик Северного Кавказа проведены исследование динамики некоторых характеристик климата, выявление тенденций и исследование трендов на устойчивость.

Район исследования включает в себя горные области Кабардино-Балкарской и Карачаево-Черкесской республик.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Результаты многолетних инструментальных измерений характеристик атмосферы на метеостанциях – не единственный, но наиболее объективный материал для анализа их динамики в изучаемом регионе. Для анализа динамики средних годовых и сезонных показателей климата в горной зоне КБР и КЧР использованы рекомендации ВМО по составлению рядов и расчету средних показателей [8].

На основе суточных данных, предоставленных в [9], составлены ряды для следующих элементов климата: приземная температура воздуха, суммы атмосферных осадков, влажность воздуха, атмосферное давление, упругость водяного пара, продолжительность солнечного сияния.

Для указанных элементов рассчитаны следующие климатические параметры:

X – среднемесячное значение элемента климата;

X_{\min} – минимальное значение элемента за месяц, вычисленное по срокам (абсолютный месячный минимум);

X_{MIN} – средний за месяц суточный минимум параметра;

X_{\max} – максимальное значение параметра за месяц, вычисленное по срокам (абсолютный месячный максимум);

X_{MAX} – максимальное значение параметра за месяц, рассчитанное по среднесуточным значениям;

X_{ampl} – амплитуда параметра ($X_{\max} - X_{\min}$);

X_{AMPL} – амплитуда среднемесячных экстремумов параметра ($X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}$).

На их основе рассчитаны климатические характеристики, пополняющие информационную базу:

- многолетние средние за весь период (с 1959 г. по 2016 г.);
- ряды значений, абсолютных и относительных аномалий для рядов, полученных на основе статистической обработки для средних по десятилетним и тридцатилетним периодам, соответствующим требованиям ВМО [8];
- временные ряды абсолютных и относительных аномалий, рассчитанных к базовому периоду для мониторинга изменений климата 1961-1990 гг. для рядов с шагом 1, 10 и 30 лет.

Для решения задач, возникающих при исследовании состояния климата, хорошо зарекомендовали себя методы фрактальной и математической статистики [10, 11].

ДИНАМИКА МНОГОЛЕТНИХ СРЕДНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛИМАТА

Индикатор изменения многолетних средних значений характеристик климата, принимаемых за климатические нормы, построен как относительная характеристика динамики рядов, позволяющая сравнивать регионы с различными абсолютными показателями динамики. Темп прироста представляет собой отношение абсолютного изменения к предыдущему уровню:

$$k_{i-1}^i = \frac{y_i - y_{i-1}}{y_{i-1}} * 100\% = \frac{\Delta_{i-1}^i}{y_{i-1}} * 100\% \quad (1)$$

или к базисному уровню:

$$k_{1961-1990}^i = \frac{y_i - y_{1961-1990}}{y_{1961-1990}} * 100\% = \frac{\Delta_{1961-1990}^i}{y_{1961-1990}} * 100\%, \quad (2)$$

где Δ_{i-1}^i – цепное абсолютное изменение многолетнего среднего показателя по отношению к предыдущему;

$\Delta_{1961-1990}^i$ – его абсолютное изменение по отношению к начальному (базисному) уровню 1961-1990 гг., $i \in (1961 - 1990; 1971 - 2000; 1981 - 2010)$.

Темп прироста (убыли) (%) многолетних средних показателей температуры воздуха и атмосферных осадков по данным метеостанции Шаджатмаз (2056 м над ур. м., 43° 44' с.ш., 42° 40' в.д.) приведен в таблице 1.

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИКИ МНОГОЛЕТНИХ СРЕДНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛИМАТА

Сезон	Приземная температура воздуха			Атмосферные осадки		
	$k_{1961-1990}^{1971-2000}$	$k_{1971-2000}^{1981-2010}$	$k_{1961-1990}^{1981-2010}$	$k_{1961-1990}^{1971-2000}$	$k_{1971-2000}^{1981-2010}$	$k_{1961-1990}^{1981-2010}$
Год	-1,44	10,4	8,81	-0,29	4,94	4,64
Весна	-4,23	-7,21	-11,4	-3,73	9,09	5,02
Лето	2,26	3,44	5,77	-0,96	1,09	0,11
Осень	-1,08	8,93	7,76	11,78	5,04	17,42
Зима	-7,51	13,77	5,23	-10,36	4,60	-6,23

Многолетние средние значения температуры воздуха, рассчитанные по 30-летним периодам, принимаемым за климатические нормы, имеют сезонные различия в ходе динамики.

Начиная с 1960 года и по настоящее время нормы температуры воздуха за весенний период снижались, за летний возрастали.

В осенний и зимний периоды темпы цепных приростов меняли знак.

Базисные темпы прироста (по отношению к норме 1961-1990 гг.) положительны во все сезоны, кроме весеннего, и составляют от 6 до 9 %.

Сезонная динамика многолетних средних значений сумм атмосферных осадков более однородна. Базисные темпы прироста минимальны летом и максимальны осенью.

Чтобы выяснить, являются ли выявленные изменения действительными, проведем моделирование тенденций исследуемых временных рядов и протестируем их параметры на значимость.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ РЯДОВ ДИНАМИКИ

Построение моделей трендов исследуемых рядов проводилось методами регрессионного анализа.

К настоящему времени в исследованиях изменений климата устоялась линейная модель трендов климатических параметров, которая отличается наглядностью и доступностью [7, 10].

Для сравнимости результатов будем исходить из линейной модели тенденции:

$$y = bt + a, \quad (3)$$

где y – элемент климата, t – время (обычно год или 10-летие), b – скорость изменения исследуемого параметра.

Вычисление параметров математической модели тренда динамического ряда проводилось с применением метода наименьших квадратов.

Рассчитанные по линейной модели тренды приземной температуры воздуха в высокогорье Кабардино-Балкарии для некоторых сезонов приведены на рисунке 1.

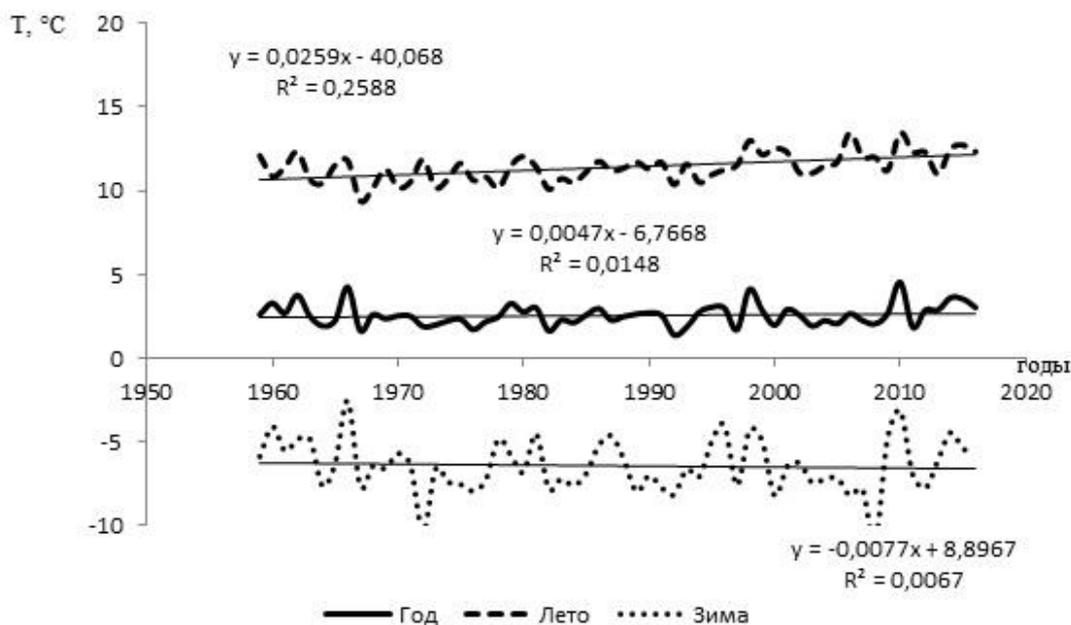


Рис. 1. Годовой, летний и зимний тренды приземной температуры воздуха в высокогорье Кабардино-Балкарии

Результаты расчетов характеристик выделенных трендов для горной части Карачаево-Черкесии по данным метеостанции Шаджатмаз представлены в таблице 2.

Таблица 2

ПОКАЗАТЕЛИ ДИНАМИКИ СРЕДНЕЙ СЕЗОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ЗА 1959-2017 ГГ. ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ ШАДЖАТМАЗ, ММ/МЕС./10 ЛЕТ

Сезон	Характеристики тренда			Оценка устойчивости		
	<i>b</i>	<i>p</i> -значение	<i>d</i> , %	r_s	<i>p</i> -значение	Качественная оценка
Год	0,110597	0,10	5	0,27	0,03	слабая, прямая
Весна	-0,01531	0,88	0	0,06	0,65	слабая, прямая
Лето	0,283061	0,0005	20	0,45	0,0004	умеренная, прямая
Осень	0,162799	0,11	4	0,22	0,11	слабая, прямая
Зима	0,011843	0,93	0	0,03	0,83	слабая, прямая

Здесь *b* – коэффициент линейной регрессии в уравнении (3), °С/мес.;

p-критерий – вероятность ошибки при отклонении нулевой гипотезы, характеризует достоверность отличия коэффициента *b* от нуля;

d, % – доля дисперсии, объясняемой трендом, характеризует степень точности описания процесса выбранной моделью.

Для проверки статистической значимости полученных оценок параметров уравнения регрессии выдвигается гипотеза об их случайном отличии от нуля:

$$H_0: b=0 \text{ (4)}$$

Пороговое значение для вероятности ошибки отклонения нулевой гипотезы (уровень значимости α) принято равным 0,05. Для проверки гипотезы используется *t*-критерий Стьюдента.

Как видно из результатов расчетов, представленных на рисунке 1 и в таблице 2, направления изменений такого климатического параметра, как среднемесячная температура воздуха,

осредненная по сезонам и за год, в горных районах Кабардино-Балкарской и Карачаево-Черкесской республик хоть и различны для сезонов, но статистически незначимы.

Особо выделяется на этом фоне величина оценок тренда для летних температур. Скорость потепления составляет $\approx 0,3$ °C/10 лет, при этом р-критерий $\ll 0,05$.

Расчеты параметров модели тенденции атмосферных осадков показывают, что зимние и летние осадки имеют тенденцию к снижению, а в так называемое межсезонье – к повышению.

Среднегодовые суммы осадков в итоге имеют положительную тенденцию. При этом из всех обнаруженных трендов признаками статистической значимости не обладает ни один (нулевая гипотеза (4) не противоречит фактическим данным).

КОЛЕБЛЕМОСТЬ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕНДЕНЦИИ

Еще одна характеристика тенденции временного ряда – сила колебаний, которая наряду с основной тенденцией является элементом динамики, обусловленным циклическими или краткосрочными факторами.

Показатель силы колебаний также построен как относительная характеристика:

$$v(t) = \frac{s(t)}{\bar{y}}. \quad (5)$$

Здесь $v(t)$ – коэффициент колеблемости, $s(t)$ – среднее линейное отклонение уровней от тренда:

$$s(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}}, \quad (6)$$

где y_i – фактический уровень ряда, \hat{y}_i – тренд, n – число уровней в ряду, p – число параметров тренда [12].

Колеблемость динамического ряда приземной температуры воздуха в горной зоне Центрального и Западного Кавказа отличается от равнинной части региона в сторону повышения.

В первой половине года она высокая и составляет 35-40 %. Во втором полугодии отклонения от тренда умеренные (13-22 %).

Наименьшая сила колебаний температуры воздуха отмечается в летний период как в горной части исследуемого региона, так и на прилегающей к ней равнине [13].

Колеблемость значений уровней атмосферных осадков в горной зоне исследуемого района высокая (более 30 %) в полугодие осень-зима и достигает максимального значения в зимний сезон $v(t)_{зима} = 0,38$.

В полугодие весна-лето колеблемость умеренная (23-25 %). В то же время на равнинной части региона атмосферные осадки отличаются высокой колеблемостью во все календарные сезоны с максимумом осенью [13].

УСТОЙЧИВОСТЬ ТЕНДЕНЦИИ

При выборе метода исследования наличия и устойчивости тенденций рассматривались методы фрактальной и математической статистики. Исследованные ряды имеют длину от 55 до 65 уровней. Это очень короткие ряды для фрактального анализа, поэтому ожидаемое значение показателя Херста вычисляется с учетом ожидаемого значения r/s -статистики для коротких рядов, рассчитанного по формуле [14]:

$$E(R/S_n) = \frac{\left(\frac{n-0.5}{n}\right) \sum_{r=1}^{n-1} \sqrt{\frac{(n-r)}{r}}}{\sqrt{n(\pi/2)}}. \quad (7)$$

Ожидаемое значение показателя Херста $E(H)$ для исследуемых рядов с учетом (7) составляет 0,61-0,66, а не теоретическое 0,5. Статистическая значимость оценивается с использованием z-критерия.

В связи с этим, учитывая длину исследуемого интервала времени, наиболее подходящим методом для исследования устойчивости тенденций временных рядов в поставленной задаче представляется метод, в котором в качестве показателя устойчивости тенденции динамики остановимся на коэффициенте корреляции Спирмена [11].

Метод является непараметрическим, что немаловажно, так как не все исследуемые ряды удовлетворяют требованию о нормальном законе распределения уровней, что делает оценки, полученные методом наименьших квадратов, ненадежными.

Коэффициент корреляции Спирмэна характеризует тесноту связи ранжированного ряда с рядом времени. В случае использования его для построения показателя устойчивости тенденции динамического ряда он принимает смысл степени полноты устойчивости тенденции:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n^3 - n} \quad (8)$$

Т.к. среди значений уровней ряда образуются связанные ранги, то применяется формула вида

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 - A}{\sqrt{(n^3 - n)(n^3 - n - A)}}, \quad (9)$$

где n – число уровней;

Δ_i – разность рангов уровней и номеров периодов времени.

A вычисляется по формуле

$$A = \frac{1}{12} \sum_j (A_j^2 - A_j), \quad (10)$$

где j – номер связок по порядку;

A_j – число одинаковых рангов в j -й связке.

Для проведения теста на значимость полученного значения в качестве нулевой гипотезы выдвигаем утверждение, что монотонная корреляция отсутствует, что в нашем случае означает полную неустойчивость тенденции:

$$H_0: r_s = 0. \quad (11)$$

Принятие альтернативной гипотезы

$$H_1: r_s \neq 0 \quad (12)$$

свидетельствует о наличии признаков устойчивости тенденции, степень полноты которой определяется близостью значения r_s к 1.

Для рассчитанных коэффициентов корреляции Спирмэна рядов проведены тесты на их статистическую значимость (t-критерий Стьюдента).

Пример расчета для среднемесячной температуры воздуха приведен в правой части таблицы 2 (см. выше).

Как видно из сравнения, результаты применения непараметрического метода корреляции рангов не противоречат результатам регрессионного анализа, основанного на методе наименьших квадратов: степень полноты устойчивости тенденции температуры воздуха в горных районах оценивается как слабая, а коэффициент корреляции Спирмэна статистически незначим.

И только для летнего сезона связь значима, тенденция положительная, степень полноты устойчивости тенденции умеренная ($r_s=0,45$).

В таблице 3 приведены результаты расчета наличия значимых тенденций роста или убыли параметров климата для таких его элементов, как влажность, атмосферное давление, упругость водяного пара в горной части Карачаево-Черкесской Республики (Клухорский перевал, Западный Кавказ).

Выявленные тенденции исследованы на устойчивость и статистическую значимость. Приведенный фрагмент сводной таблицы содержит записи тех климатических параметров, для которых хотя бы в одном месяце или сезоне наблюдалась значимая тенденция. Направление тенденции – рост или убыль – отмечено знаком.

Таблица 3

СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫЕ ТРЕНДЫ В ДИНАМИКЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ КЛУХОРСКИЙ ПЕРЕВАЛ

Парам	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год	Весна	Лето	Осень	Зима
Влажность, 1966-2016 гг.																	
F _{max}				+								-	+	+			
F _{min}								-							-		
F _{MIN}							-	-	-				-		-	-	
F _{AMPL}		+		+		+	+	+	+	+			+	+	+	+	+
Давление, 1966-2016																	
P												+			+		
P _{max}									-								
P _{MAX}								+				+					
P _{min}								+							+		
P _{MIN}						+	+	+				+	+		+		
P _{AMPL}						-	-						-		-		
P _{ampl}					-								-				-
Упругость водяного пара																	
E			-	-									-	-			
Приземная температура воздуха, 1959-2016																	
T						+	+	+							+		
T _{MAX}						+	+	+					+		+		
T _{min}													-				
T _{MIN}						+		+			+		+		+		
T _{AMPL}					+	+	+	+			+						
Солнечное сияние																	
										+							
Осадки																	
N																	+
I _{сутки}																	+
I _{MAX}									+								+

Анализ на основе математико-статистического моделирования дает следующую картину изменений климата в горных районах Центрального и Западного Кавказа.

Наименее затронуты значимыми изменениями такие параметры, как минимальные и максимальные значения упругости водяного пара, влажность, продолжительность солнечного сияния.

Наиболее значимые положительные изменения произошли с суточной амплитудой влажности воздуха (все сезоны), ее абсолютными месячными максимумами (весна), атмо-

сферным давлением и его минимальными и максимальными значениями (лето, декабрь), приземной температурой воздуха, ее максимальными и минимальными значениями и их амплитудой (летний сезон), изменились также число дней с осадками, максимальные суточные осадки и средняя суточная интенсивность атмосферных осадков (осень).

Наиболее значимые отрицательные изменения произошли со среднемесячными минимумами влажности (лето, осень), среднемесячной амплитудой атмосферного давления (лето), упругостью водяного пара (весна).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Математико-статистическое моделирование тенденций рядов динамики климатических параметров в горных районах Западного и Центрального Кавказа позволяет сделать следующие выводы.

Основное количество статистически значимых трендов наблюдается с мая по сентябрь. Этот сезон известен как селеопасный в горах и как сезон неблагоприятных паводков в среднегорье и на равнине исследуемого региона.

В этот период года наблюдается тенденция к повышению амплитуды влажности за счет значимого снижения ее минимальных значений.

Параллельно с этим наблюдается снижение амплитуды атмосферного давления за счет повышения ее минимальных значений.

Среди наиболее важных характеристик климата при исследовании формирования опасных экзогенных процессов находятся показатели температуры воздуха.

Обнаруживается рост ее средних значений, максимальных и минимальных с мая по август.

Неравномерная скорость возрастания максимальных и минимальных значений температуры воздуха приводит к значимому росту ее амплитуды.

При этом самое низкое значение p -критерия получено в августе (0,00030).

Суточная амплитуда температуры воздуха значимо возросла с мая по август (p -критерий в июле – 0,002, в августе – 0,004) и в ноябре.

Еще одним из важнейших при рассмотрении опасных экзогенных процессов на территории Северного Кавказа элементов климата являются атмосферные осадки.

В горной части республик статистически значимо увеличились интенсивность осадков в сентябре, а также количество дней с осадками и их суточные максимумы в осенний период.

Таким образом, устойчивые изменения климатических параметров горной зоны обнаружены в основном в периоды селевой и паводковой опасности в регионе.

Это указывает на то, что вероятность формирования опасных природных процессов в горных районах Западного и Центрального Кавказа не снижается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kireeva M. B., Frolova N. L., Rets E. P., Telegina E. A., Telegina A. A., Ezerova N. N. The role of seasonal and occasional floods in the origin of extreme hydrological events // Proceedings IAHNS, Extreme Hydrological Events. 2015. Vol. 369. Pp. 109-113.

2. Корчагина Е.А. Исследование температурного режима в горных районах Кабардино-Балкарии и Карачаево-Черкесии в 1951-2015 гг. // Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Т. 11. № 4(42). С. 449-458.

3. Мальнева И.В., Кононова Н.К. Увеличение опасности формирования гляциальных селей в Кабардино-Балкарии в современный период // Лед и снег. 2013. № 3(123). С. 112-117.

4. Lur'e P.M., Panov V.D. Problems of exploration level of hydrometeorological regime of the Northern Caucasus territory // Russian Meteorology and Hydrology, 2011. Vol. 36. / issue 4. Pp. 273-278.

5. *Shahgedanova M., Nosenko G., Kutuzov S., Rototaeva O. and Khromova T.* Deglaciation of the Caucasus Mountains, Russia/Georgia, in the 21st century observed with ASTER satellite imagery and aerial photography // *The Cryosphere*, 2014. Vol. 8. Pp. 2367-2379.
6. *Пшихачева И.Н.* Сравнительный комплексный анализ и прогноз режима осадков в различных климатических зонах юга России: дисс... канд. физ.-матем. наук. Нальчик, 2014. 213 с.
7. *Tashilova A. A., Kesheva L. A., Teunova N. V., Taubekova Z. A.* Analysis of temperature variability in the mountain regions of the North Caucasus in 1961-2013 // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2016. vol. 41. ISSUE 9. Pp. 601-609.
8. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO, 2017. ISSUE 1203. 18 p.
9. *Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В.* Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №~2014621485.2014. URL:<http://meteo.ru/data/156-temperature> (дата обращения: 15.08.2017).
10. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации в 2017 г. М.: Росгидромет, 2018. 69 с.
11. *Корчагина Е.А.* Исследование устойчивости тенденций элементов климата в высокогорье Карачаево-Черкесии с 1959 по 2017 гг. // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2018. № 3(23). С. 106-115.
12. *Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М.* Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Финансы и статистика, 2012. 320 с.
13. Кюль Е.В., Корчагина Е.А., Джаппуев Д.Р. Пространственные закономерности образования опасных экзогенных процессов / В кн. «*Геоэкологические исследования на территории Кабардино-Балкарской Республики за период с 2012 по 2018 годы*». Нальчик, 2019. Том 1. 170 с.
14. *Peters E.E.* Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics. New York: J.Wiley, 1994. 336 p.

REFERENCES

1. Kireeva M. B., Frolova N. L., Rets E. P., Telegina E. A., Telegina A. A., Ezerova N. N. The role of seasonal and occasional floods in the origin of extreme hydrological events // *Proceedings IAHS, Extreme Hydrological Events*. 2015. Vol. 369. Pp. 109-113.
2. *Korchagina E.A.* *Issledovanie temperaturnogo rezhima v gornyx rayonakh Kabardino-Balkarii i Karachaevo-Cherkessii v 1951-2015 gg.* [The investigation on temperature regime in the highlands of the Kabardino-Balkarian and Karachay-Cherkessia from 1951 to 2015 // *Sustainable development of mountain territories*. 2019. Vol. 11. № 4(42). Pp. 449-458. (In Russ).
3. *Mal'neva I.V., Kononova N.K.* *Uvelichenie opasnosti formirovaniya glyatsial'nykh seley v Kabardino-Balkarii v sovremennyy period* [The increased danger of the formation of glacial mudflows in Kabardino-Balkaria in the modern period] // *Led i sneg. [Ice and snow]*. 2013. № 3(123). Pp. 112-117.
4. *Lur'e P.M., Panov V.D.* Problems of exploration level of hydrometeorological regime of the Northern Caucasus territory // *Russian Meteorology and Hydrology*, 2011. Vol. 36. \ issue 4. Pp. 273-278.
5. *Shahgedanova M., Nosenko G., Kutuzov S., Rototaeva O., and Khromova T.* Deglaciation of the Caucasus Mountains, Russia / Georgia, in the 21st century observed with ASTER satellite imagery and aerial photography // *The Cryosphere*, 2014. Vol. 8. Pp. 2367-2379.
6. *Pshikhacheva I.N.* *Sravnitel'nyy kompleksnyy analiz i prognoz rezhima osadkov v razlichnykh klimaticheskikh zonakh yuga Rossii* [Comparative comprehensive analysis and forecast of precipitation in various climatic zones of southern Russia]: Diss... kand. fiz.-matem. nauk. [Thesis for Candidate of Phys.-Math. Sciences degree]. Nal'chik, 2014. 213 p.

7. Tashilova A. A., Kesheva L. A., Teunova N. V., Taubekova Z. A. Analysis of temperature variability in the mountain regions of the North Caucasus in 1961-2013 // Russian Meteorology and Hydrology. 2016. Vol. 41. Issue 9. Pp. 601-609.
8. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO, 2017. Issue 1203. 18 p.
9. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Korshunova N.N., Shvets N.V. *Opisanie massiva dannykh sutochnoy temperatury vozdukhа i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR (TTTR)*. [Description of the data array of daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR)]. Certificate of state registration of the database No. 2014620942. (In Russ)
10. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2017 god*. [Report on the climate in the Russian Federation for 2017]. M.: Rosgidromet, 2019. 79 pp. (In Russ)
11. Korchagina E.A. *Issledovanie ustoychivosti tendentsiy elementov klimata v vysokogor'e Karachaevo-Cherkessii s 1959 po 2017 gg*. [The research on stability of tendencies of climate elements in the highlands of Karachay-Cherkessia from 1959 to 2017] // Vestnik KRAUNC. Fiz.-Mat. Nauki. 2018. No. 3(23). Pp. 106-115.
12. Afanas'ev V. N., Yuzbashev M. M. *Analiz vremennykh ryadov i prognozirovaniye* [Time Series Analysis and Forecasting]. M.: Finansy i statistika [Finance and statistics], 2012. 320 p.
13. Kyul' E.V., Korchagina E.A., Dzhappuev D.R. *Prostranstvennyye zakonomernosti obrazovaniya opasnykh ekzogennykh protsessov* [Spatial patterns of the formation of dangerous exogenous processes] / In the book «Geoekologicheskie issledovaniya na territorii Kabardino-Balkarskoy Respubliki za period s 2012 po 2018 gody» [“Geoecological studies in the territory of the Kabardino-Balkarian Republic for the period from 2012 to 2018”]. Nal'chik, 2019. Vol. 1. 170 p.
14. Peters E.E. *Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics*. New York: J.Wiley, 1994. 336 p.

RESEARCH ON CLIMATE ELEMENTS' FLUCTUATIONS IN THE WESTERN AND CENTRAL CAUCASUS BY MATHEMATICAL STATISTICS METHODS

E.A. KORCHAGINA

Federal public budgetary scientific establishment «Federal scientific center
«Kabardin-Balkar Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»
Center of geographical researches
360002, KBR, Nalchik, 2, Balkarova street
E-mail: kbncran@mail.ru

The methods of mathematical statistics were used in constructing a scheme for calculating the dynamics of climate parameters to solve the problems of natural hazards energization. Climate parameters are calculated on the basis of processing the results of long-term instrumental measurements of atmospheric characteristics at weather stations. The modelling of trends in dynamic series and the study of the stability of trends were carried out by regression and rank correlation methods. The dynamics of such climate elements as atmospheric pressure, water vapour elasticity, surface air temperature, and the amount of precipitation in the mountain zone of the Karachay-Cherkess and Kabardino-Balkarian Republics is studied.

Keywords: mathematical and statistical modelling, tendency stability, natural hazards, dynamics of climatic parameters.

Работа поступила 21.05.2020 г.