

Научная статья
УДК 519.25:627.8

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ МАКСИМАЛЬНЫХ СУММ ОСАДКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ 8-СРОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА МЕТЕОСТАНЦИЯХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.А. Наумов^{1,*}, А.Х. Алиева²

¹ Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

² Агентство мелиорации Калининградской области, Калининград, Россия

*E-mail: van-old@mail.ru

Аннотация. В статье выполнена компьютерная обработка результатов 8-срочных наблюдений за осадками из архива по 4-м метеорологическим станциям Калининградской области. Общий объем массива за 45 лет наблюдений (1977-2021) составил более полумиллиона числовых данных. Наибольшая средняя многолетняя сумма осадков наблюдалась в Калининграде (821 мм), годовой максимум – 1214 мм в 2007 году. Зависимость коэффициентов парной корреляции (КПК) между суммами осадков на разных станциях от периода наблюдений T была исследована. Во всех случаях при $T = 3$ часа КПК невелик. КПК растет с увеличением T , достигая наибольших значений при $T = 480$ или 720 часов. Значимая стохастическая связь у годовых сумм осадков установлена только с максимальными 30-суточными. Ряды максимальных 3-часовых сумм осадков можно восстанавливать по рядам 12- и 24-часовых осадков.

Ключевые слова: максимальные годовые суммы осадков; корреляционный анализ.

Для цитирования: Наумов В.А., Алиева А.Х.. Корреляционный анализ максимальных сумм осадков по результатам 8-срочных наблюдений на метеостанциях Калининградской области // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2023. Т.9. №1. С. 63–74.

Original article

CORRELATION ANALYSIS OF MAXIMUM PRECIPITATION AMOUNTS BASED ON THE RESULTS OF 8-TERM OBSERVATIONS AT WEATHER STATIONS IN THE KALININGRAD REGION

V.A. Naumov^{1,*}, A.H. Alieva²

¹ Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

² Kaliningrad Region Land Reclamation Agency, Kaliningrad, Russia

*E-mail: van-old@mail.ru

Abstract. The article presents the computer processing of the results of 8-urgent observations of precipitation from the archive on the 4th meteorological stations of the Kaliningrad region. The total volume of the array over 45 years of observations (1977-2021) amounted to more than half a million numerical data. The highest average long-term precipitation was observed in Kaliningrad (821 mm), the annual maximum was 1214 mm in 2007. The dependence of the pair correlation coefficients (PCC) between the precipitation amounts at different stations on the observation period T was investigated. In all cases, at $T = 3$ hours, the PCC is small. The PCC

grows with increasing T , reaching the highest values at $T = 480$ or 720 hours. A significant stochastic relationship in annual precipitation amounts has been established only with the maximum 30-day precipitation. Rows of maximum 3-hour precipitation amounts can be restored by rows of 12- and 24-hour precipitation.

Key words: *maximum annual precipitation amounts; correlation analysis.*

For citation: Naumov V.A., Alieva A.H. Correlation analysis of maximum precipitation amounts based on the results of 8-term observations at weather stations in the Kaliningrad region. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2023. Vol.9. No. 1. pp. 63–74.

Введение

В последние годы наметился сдвиг в методологии оценок гидрологических последствий прогнозируемого изменения климата – от расчетов с помощью моделей климата к расчетам с помощью региональных гидрологических моделей. В [1] констатируется, что региональные гидрологические модели позволяют рассчитать характеристики водного режима рек за определенный период точнее и оценивать их возможные изменения в будущем с меньшей неопределенностью, чем климатические модели.

Определение максимального (за год) суточного слоя ливневых осадков (МССО) H_C является весьма востребованным в инженерной гидрологии. В соответствии с действующим Сводом правил (СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Издание официальное. Москва: Госстрой России, 2004. 74 с.) величина максимального суточного слоя ливневых осадков вероятностью превышения $P=1\%$ ($H_{C1\%}$) необходима для расчета стока дождевых паводков с малых водосборов. Малыми водосборами, для которых возможно применение формулы предельной интенсивности (формула III типа), являются такие, площадь которых ограничена величиной в 200 км^2 для всех природных зон.

Свод правил (СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения. Издание официальное. Москва: Стандартинформ, 2019. 71 с.) предписывает объем дождевого стока от расчетного дождя W (м^3), который полностью отводится на очистные сооружения с селитебных территорий и площадок предприятий, рассчитывать по формуле:

$$W = 10 \cdot h_a \cdot \Psi \cdot F, \quad (1)$$

где – h_a максимальный суточный слой осадков за дождь, сток от которого подвергается очистке в полном объеме, мм; Ψ – средний коэффициент стока для расчетного дождя (определяется как средневзвешенное значение в зависимости от постоянных значений коэффициента стока, для разного вида поверхностей); F – площадь территории, с которой определяется ПСВ, га.

По указанному своду правил следует отводить на очистные сооружения весь поверхностный сток с площадок предприятий второй группы. Ко второй группе относятся предприятия, территория которых может быть загрязнена специфическими веществами с токсичными свойствами или значительным количеством органических веществ. Для расчета объема дождевых ПСВ с территории предписано принимать величину таких предприятий h_a равной максимальному слою суточных дождевых осадков H_p заданной вероятности превышения P . Значения H_p рекомендуется определять по кривым обеспеченности $H_p = f(P)$, которые строятся по данным ближайших к территории ПСВ метеостанций (МС) с длительным периодом наблюдения (не менее 25 лет) или по объединенному ряду годовых максимумов суточных осадков на нескольких соседних МС.

Аналізу максимальных за год суточных осадков посвящено большое количество публикаций (см. [2-7] и библиографию в них). Однако все перечисленные статьи используют в качестве исходного материала массивы осадков за календарные (точнее, метеорологические)

сутки. По физическому смыслу требуется максимальный слой осадков за непрерывные 24 часа наблюдений (или иной срок), вне зависимости от начала отсчета времени суток. В [8] на базе массива 8-срочных наблюдений в Калининграде было показано, что максимальные 24-часовые суммы осадков могут быть заметно больше суточных.

Цель данной статьи – провести первичную обработку и корреляционный анализ массива результатов 8-срочных наблюдений за суммами осадков на МС Калининградской области (КО).

Материалы и методы

ФГБУ ВНИИ гидрометеорологической информации предоставляет прямой доступ к Специализированным массивам данных для климатических исследований [9] по большому количеству российских МС. Результаты 8-срочных наблюдений за осадками (каждые 3 часа) имеются по 4-м МС КО: МС Советск, МС Балтийск, МС Калининград, МС Железнодорожный. Если исключить годы с большими пробелами в наблюдениях, то можно воспользоваться массивами сумм осадков за 45 лет (1977-2021). На рис. 1 показан выбор указанных массивов данных.

The screenshot shows a web interface for selecting data. It includes a search criteria table, a list of parameters for selection, and a list of actions.

Раздел БД:	Сроки
Источник данных:	8-срочные наблюдения на станциях, (SROK8C)
Задайте разделитель:	<input checked="" type="radio"/> Пробел <input type="radio"/> Точка с запятой
Вариант запроса:	Срочные данные
Всего выбрано станций: 4	<input type="button" value="Список"/>

Условия отбора данных		
Признак	От	До
Год по Гринвичу	1977	2021
Месяц по Гринвичу		
День по Гринвичу		
Срок по Гринвичу		

Параметры для выбора

- Направление ветра
- Средняя скорость ветра
- Максимальная скорость ветра
- Сумма осадков**
- Температура поверхности почвы
- Температура пов. почвы по мин. терм-ру
- Мин. температура пов-сти почвы между сроками
- Макс. температура пов-сти почвы между сроками
- Температура пов-сти почвы по макс. терм-ру п/в
- Температура воздуха по сухому терм-ру
- Темп. воздуха по смоченному терм-ру
- Температура воздуха по мин. терм-ру
- Мин. температура воздуха между сроками

Действия

-
-
-
-
-
- Одним файлом
- Файлы по станциям

Параметры запроса

- Синоптический индекс станции
- Год по Гринвичу
- Месяц по Гринвичу
- День по Гринвичу
- Срок по Гринвичу
- Сумма осадков

Рисунок 1 – Выбор массива 8-срочных сумм осадков по 4 МС КО

За каждый не високосный год имеется $n=8 \cdot 365=2920$ результатов измерений по одной МС (за високосный – $n = 2928$). Общий объем массива исходных данных за 45 лет по 4 станциям составил 525952. На рис. 2-4 в качестве примеров приведены результаты измерений за суммами осадков каждые 3 часа в КО.

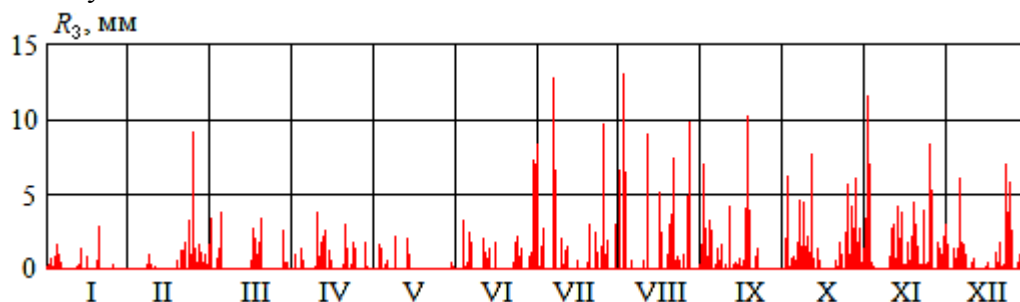


Рисунок 2 – Суммы 3-часовых осадков по МС Балтийск в 2017 году

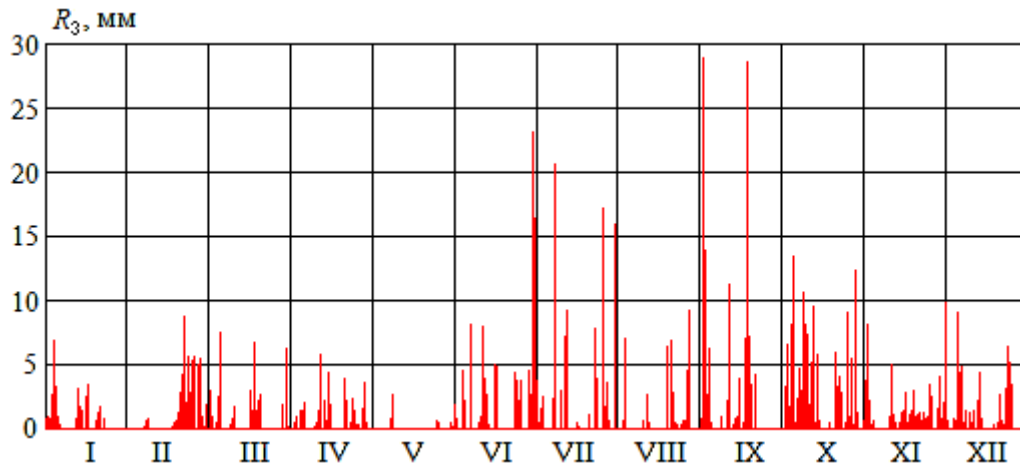


Рисунок 3 – Суммы 3-часовых осадков по МС Советск в 2017 году

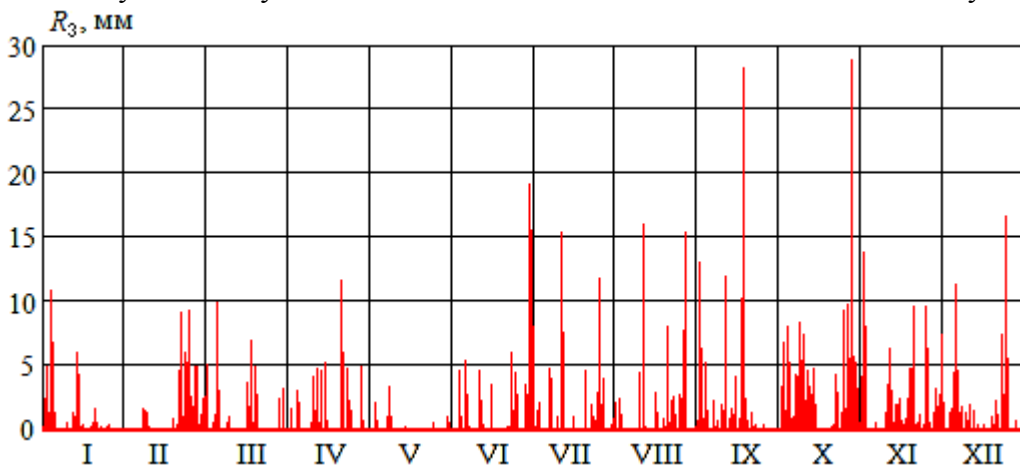


Рисунок 4 – Суммы 3-часовых осадков по МС Калининград в 2017 году

Для обработки такого большого массива данных была использована компьютерная программа, описанная в [8]. Первый этап – расчет сумм осадков за 6, 12, 24, 48 и т.д. часов и выбор максимальных за год значений. Например, 24-часовые суммы осадков R_{24} и их максимальные годовые значения H_{24} рассчитываются по формулам

$$R_{24}_{i,k} = \sum_{j=i}^{i+7} R_{3}_{j,k}; \quad H_{24}_k = \max_i(R_{24}_{i,k}); \quad i = 1, 2, 3, \dots, n-7, \quad (2)$$

где i – номер 3-часовой суммы с начала k -го года; $k = 1, 2, 3, \dots, 45$ – номер года.

Второй этап обработки – расчет коэффициентов парной корреляции между суммами осадков на разных МС за один и тот же период наблюдений и на каждой станции, но за разные периоды наблюдений. Что позволяет оценить тесноту стохастической связи между рядами наблюдений и дать рекомендации по их восстановлению.

Результаты и их обсуждение

Результаты первого этапа обработки представлены в табл. 1-3. В таблицах использованы сокращения: Кал-д – Калининград, Жел-й – Железнодорожный, с.к.о – среднее квадратичное отклонение, C_v – коэффициент вариации.



Таблица 1 – Суммы осадков по 4 МС КО максимальные 3 и 12-часовые

Год	Максимальные 3-часовые				Максимальные 12-часовые			
	Советск	Балтийск	Кал-д	Жел-й	Советск	Балтийск	Кал-д	Жел-й
1977	27.6	47.6	42.6	20.2	30.6	48.8	41.9	26.9
1978	21.7	26.9	24.7	21.2	22.7	41.2	32.3	29.9
1979	15.4	27.0	25.2	24.1	16.0	33.4	28.8	31.5
1980	16.1	27.8	30.2	24.0	27.3	31.2	44.9	27.2
1981	19.5	30.2	50.3	36.1	19.5	30.2	50.3	36.1
1982	25.4	30.3	20.6	50.7	25.4	30.3	20.6	50.7
1983	17.0	25.4	36.8	20.1	17.0	25.4	36.8	20.1
1984	16.0	19.1	30.6	27.3	20.5	34.6	33.2	28.2
1985	23.3	39.7	23.2	21.1	25.0	49.4	29.8	34.8
1986	14.8	20.9	27.2	23.0	24.9	28.6	41.0	32.8
1987	29.7	19.3	35.2	19.6	34.9	23.9	35.5	23.8
1988	34.7	24.1	28.9	32.9	35.2	30.0	47.4	39.1
1989	26.3	13.4	25.4	18.3	26.3	14.3	35.4	20.3
1990	28.9	32.7	22.6	16.9	32.5	48.0	51.0	17.7
1991	39.1	21.2	17.8	16.5	42.6	31.6	29.7	17.4
1992	16.4	21.9	26.2	23.5	26.4	30.4	49.4	36.5
1993	26.4	23.9	22.3	24.1	26.4	23.9	22.3	24.1
1994	14.6	28.1	20.5	21.1	14.6	28.1	20.5	21.1
1995	20.4	28.4	33.0	40.7	20.4	28.4	33.0	40.7
1996	21.4	29.7	24.3	23.6	21.4	29.7	24.3	23.6
1997	20.2	24.2	41.6	55.3	20.2	24.2	41.6	55.3
1998	32.5	42.6	21.8	41.4	32.5	42.6	21.8	41.4
1999	31.4	28.7	36.8	37.3	31.4	28.7	36.8	37.3
2000	22.6	16.2	32.9	38.7	27.6	20.8	32.9	42.9
2001	31.2	43.2	40.6	45.4	37.1	49.0	40.6	49.7
2002	22.8	13.4	22.3	33.2	25.4	14.1	25.3	59.2
2003	49.4	22.6	30.0	36.6	78.9	28.5	30.0	39.2
2004	21.5	23.2	21.4	15.7	23.6	28.5	23.8	29.4
2005	40.2	27.2	68.2	20.8	48.8	42.5	95.4	40.2
2006	36.8	18.3	24.1	19.2	36.8	18.6	26.1	29.6
2007	31.0	18.2	63.0	26.4	50.5	23.3	63.0	44.1
2008	22.2	18.7	27.2	24.9	22.7	20.8	28.9	24.9
2009	20.2	15.2	61.0	43.0	24.2	21.9	71.5	49.2
2010	44.4	44.7	35.3	28.7	45.8	47.0	36.3	30.2
2011	19.0	24.9	24.6	24.5	24.3	34.6	37.7	27.9
2012	26.7	24.7	40.2	30.0	38.1	29.1	40.2	33.4
2013	33.2	32.0	31.4	32.0	40.4	47.2	34.4	36.7
2014	16.4	21.4	56.0	22.3	18.5	21.4	56.0	23.9
2015	20.1	19.3	18.8	21.2	22.4	23.0	21.8	21.3
2016	34.6	22.6	16.0	73.3	42.8	23.6	23.0	76.7
2017	28.9	13.0	28.7	26.3	38.5	14.4	39.3	32.2
2018	22.4	16.9	23.2	25.1	23.7	18.5	23.6	31.4
2019	17.9	22.2	30.0	31.0	19.9	25.5	30.2	33.1
2020	22.0	23.4	28.1	28.3	22.0	33.1	28.1	37.4
2021	29.7	12.5	44.9	30.0	42.2	12.8	57.9	47.7
Миним.	14.6	12.5	16.0	15.7	14.6	12.8	20.5	17.4
Средн.	25.6	25.0	31.9	29.2	29.9	29.7	37.2	34.6
Максим.	49.4	47.6	68.2	73.3	78.9	49.4	95.4	76.7
с.к.о.	8.25	8.42	12.2	11.4	11.8	10.0	14.7	11.9
Сv	0.322	0.336	0.384	0.390	0.394	0.338	0.396	0.345



Таблица 2 – Суммы осадков по 4 МС КО максимальные 24- и 48-часовые

Год	Максимальные 24-часовые				Максимальные 48-часовые			
	Советск	Балтийск	Кал-д	Жел-й	Советск	Балтийск	Кал-д	Жел-й
1977	30.6	62.8	42.2	29.1	33.8	63.1	52.0	41.6
1978	27.0	44.8	39.2	35.1	38.9	52.9	64.8	37.4
1979	24.7	33.4	30.7	44.2	32.3	37.0	34.1	55.8
1980	33.3	56.6	59.1	30.6	50.2	53.7	84.9	47.7
1981	28.9	36.8	67.6	46.9	34.4	40.3	73.3	50.6
1982	33.3	44.1	30.2	50.7	34.8	50.2	39.3	50.7
1983	24.2	29.5	47.0	24.3	36.5	34.5	55.2	28.0
1984	30.7	57.0	41.0	33.3	41.3	57.4	58.7	39.9
1985	34.2	49.4	48.2	46.8	36.4	49.4	58.1	49.5
1986	33.9	37.4	48.4	36.3	39.7	48.6	62.3	44.6
1987	47.9	35.1	41.2	44.3	76.3	36.9	42.6	44.4
1988	36.9	33.7	52.0	40.5	37.2	40.3	52.0	41.4
1989	45.6	18.4	40.2	30.0	51.8	23.3	51.0	33.1
1990	60.8	50.8	36.4	21.0	44.1	68.8	62.3	25.8
1991	42.6	41.3	33.6	22.3	47.2	58.9	44.7	29.2
1992	38.6	41.9	78.0	52.7	44.0	54.4	95.7	59.2
1993	33.8	26.4	37.1	27.9	47.1	30.3	42.6	34.9
1994	25.7	36.4	27.9	23.5	38.1	52.0	35.4	40.4
1995	37.9	44.7	37.4	63.7	58.3	59.2	46.6	65.8
1996	21.7	42.4	26.8	24.0	29.7	42.4	41.8	26.8
1997	31.1	29.3	41.6	57.3	34.7	51.9	43.4	57.3
1998	36.4	43.1	23.5	41.7	53.7	51.4	46.7	54.5
1999	37.4	31.8	42.6	47.1	38.0	31.8	49.9	52.4
2000	28.5	23.5	33.6	42.9	34.4	33.0	37.1	43.5
2001	55.6	54.2	45.6	52.8	57.2	55.2	63.7	65.4
2002	36.5	19.3	25.5	59.7	40.1	26.3	29.0	59.7
2003	78.9	39.0	31.1	39.2	88.3	39.0	53.2	41.4
2004	40.6	28.5	39.6	29.4	48.5	36.6	48.2	39.1
2005	84.3	73.3	138.5	67.4	120.2	79.8	162.3	74.6
2006	39.2	18.7	42.5	36.1	39.2	26.4	61.5	41.9
2007	72.2	30.6	63.0	50.8	89.6	36.7	74.0	62.8
2008	27.5	32.0	30.1	26.4	38.5	38.0	39.5	30.2
2009	25.8	21.9	76.3	49.8	35.2	22.7	83.8	84.1
2010	45.8	68.0	41.0	34.0	55.1	68.8	44.3	41.4
2011	29.6	37.5	44.5	43.8	33.5	42.5	56.0	47.1
2012	39.6	30.5	40.5	39.5	39.6	30.5	50.0	53.7
2013	46.3	47.2	44.2	40.5	49.4	55.4	48.8	45.0
2014	24.8	25.5	56.0	23.9	34.3	26.7	56.0	32.7
2015	25.3	27.4	26.0	24.9	34.0	37.1	34.1	32.9
2016	70.7	24.1	27.9	82.4	94.4	31.2	43.0	82.5
2017	52.4	23.3	49.4	46.8	55.6	34.3	55.9	61.5
2018	26.2	19.3	29.5	44.5	38.8	32.9	36.2	64.3
2019	27.3	26.6	42.4	33.2	35.3	30.9	54.8	33.3
2020	24.8	41.5	28.7	37.5	31.7	48.0	33.8	40.8
2021	48.9	13.8	63.5	49.5	52.6	19.0	64.3	51.8
Миним.	21.7	13.8	23.5	21.0	29.7	19.0	29.0	25.8
Средн.	38.8	36.7	44.3	40.6	47.2	43.1	54.8	47.6
Максим.	84.3	73.3	138.5	82.4	120.2	79.8	162.3	84.1
с.к.о.	15.0	13.6	19.4	13.2	18.9	13.8	21.8	14.1
Сv	0.387	0.371	0.437	0.325	0.401	0.320	0.397	0.296

Таблица 3 – Суммы осадков по 4 МС КО годовые и максимальные 30 суточные

Год	Годовые				Максимальные 30-суточные			
	Советск	Балтийск	Кал-д	Жел-й	Советск	Балтийск	Кал-д	Жел-й
1977	654.5	692.7	807.2	616.6	128.2	150.9	177.2	148.3
1978	841.7	754.6	899.3	740.4	190.9	191.2	267.8	151.6
1979	699.6	637.8	799.1	660.1	149.5	117.2	143.9	141.6
1980	867.4	915.5	1042.6	760.9	149.9	196.1	204.1	136.9
1981	838.6	965.5	1072.3	855.4	131.6	177.1	214.1	189.9
1982	495.8	436.3	549.2	523.5	83.8	85.9	81.2	81.8
1983	658.3	773.4	863.1	606.3	93.6	135.4	142.6	94.8
1984	715.7	683.3	726.1	574.9	147.3	183.9	154.8	122.7
1985	814.6	721.4	859.6	682.9	124.2	119.6	160.1	119.2
1986	720.9	743.3	856.4	676.8	155.8	194.7	168.2	147.6
1987	887.1	692.2	895.5	761.0	161.5	128.3	155.4	142.2
1988	646.5	675.8	769.3	623.0	90.8	109.3	105.9	130.8
1989	815.7	574.6	781.9	641.7	130.1	92.3	114.7	118.6
1990	809.2	793.4	876.4	565.9	175.0	182.6	167.9	92.9
1991	783.3	745.0	729.1	617.2	147.2	145.8	125.2	123.8
1992	663.8	575.2	820.0	626.0	133.1	132.1	171.4	148.8
1993	762.8	635.5	831.0	632.0	159.6	165.7	162.6	110.3
1994	815.4	652.4	897.6	722.9	133.4	98.6	143.0	143.3
1995	725.6	647.9	737.2	728.6	132.2	137.0	145.3	181.2
1996	557.3	550.3	592.2	537.4	133.6	109.9	103.0	91.6
1997	703.5	737.9	795.0	720.4	158.1	196.5	182.2	162.1
1998	925.0	764.4	933.3	796.0	176.9	143.3	159.8	198.8
1999	773.3	789.1	902.5	684.6	135.8	123.0	175.9	131.1
2000	635.2	578.2	727.9	583.6	126.3	112.2	143.6	126.4
2001	896.7	796.2	860.1	781.8	158.5	183.0	184.1	155.1
2002	745.2	538.2	641.1	655.3	161.0	131.8	128.8	138.6
2003	801.1	621.4	732.1	617.0	169.7	106.1	147.6	127.2
2004	750.1	727.6	900.2	708.5	112.9	139.5	146.8	142.4
2005	764.7	609.0	844.3	574.5	202.6	194.7	256.5	139.3
2006	639.3	501.0	725.5	641.1	136.3	93.6	180.5	193.8
2007	1069.5	695.7	1213.9	757.6	286.9	158.4	226.2	180.9
2008	763.8	595.1	860.5	712.2	119.4	142.3	165.0	121.4
2009	697.1	488.5	888.5	742.3	112.1	124.6	152.2	141.2
2010	698.0	697.1	795.1	646.4	151.2	191.0	161.4	128.6
2011	681.5	581.2	850.9	628.2	123.7	147.6	214.3	167.3
2012	883.3	653.2	1002.4	798.7	160.0	119.6	226.5	171.3
2013	687.5	509.8	794.0	680.2	146.1	91.5	153.7	132.0
2014	571.3	414.6	623.9	522.8	95.1	73.3	117.2	88.2
2015	679.7	471.6	710.0	633.2	129.3	119.2	143.7	109.4
2016	902.4	467.5	802.4	891.3	148.9	120.9	140.5	166.0
2017	1011.9	628.6	1077.7	875.6	205.7	119.7	234.9	188.2
2018	575.6	441.0	613.4	643.7	94.6	94.3	114.1	117.2
2019	731.9	513.9	790.5	632.7	144.2	103.0	154.4	142.4
2020	767.4	469.5	754.1	651.8	124.0	77.0	120.3	129.5
2021	831.6	395.0	689.5	673.1	183.6	71.8	124.5	142.0
Миним.	495.8	395.0	549.2	522.8	83.8	71.8	81.2	81.8
Средн.	754.7	634.5	820.7	675.7	144.8	134.0	161.4	139.1
Максим.	1069	965.5	1214	891.3	286.9	196.5	267.8	198.8
с.к.о.	116.0	130.5	131.3	87.8	35.4	36.7	40.2	28.5
Сv	0.154	0.206	0.160	0.130	0.254	0.274	0.249	0.205

По табл. 3 наибольшая средняя многолетняя сумма осадков КО получилась на МС Калининград (821 мм), годовой максимум – 1214 мм в 2007 году. Что связано с особым микроклиматом города Калининграда [10]. Здесь же была зафиксирована наибольшая 24-часовая сумма осадков то табл. 2: 138,5 мм в 2005 году. Из 4-х МС меньше всего выпадает осадков в Балтийске, среднее многолетнее значение – 634,5 мм в год. Наименьший коэффициент вариации годовых осадков 0,130 – в Железнодорожном, наибольший 0,206 – в Балтийске.

Были рассчитаны коэффициенты парной корреляции (КПК) r между суммами осадков на разных станциях R_T (не максимальных!), T – период наблюдений. Для примера на рис. 5, 6 показаны результаты расчета за 2000 и 2017 год.

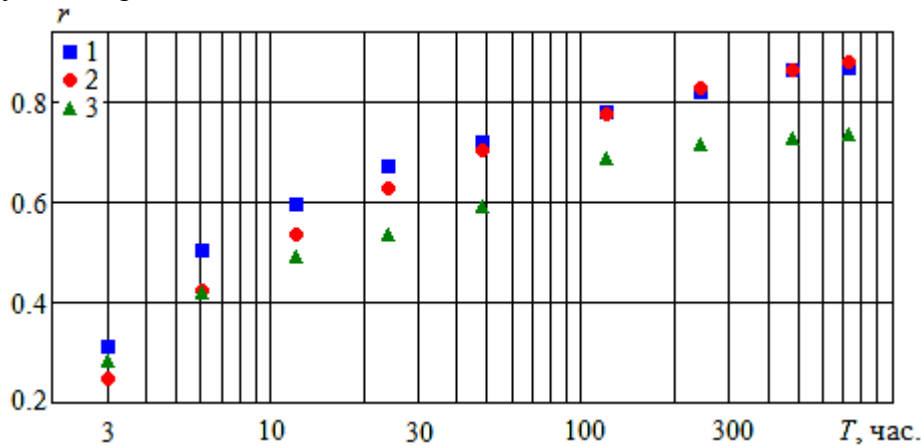


Рисунок 5 – КПК сумм осадков МС Калининград и МС Балтийск (1), МС Советск (2), МС Железнодорожный (3) в зависимости от периода наблюдений в 2000 году

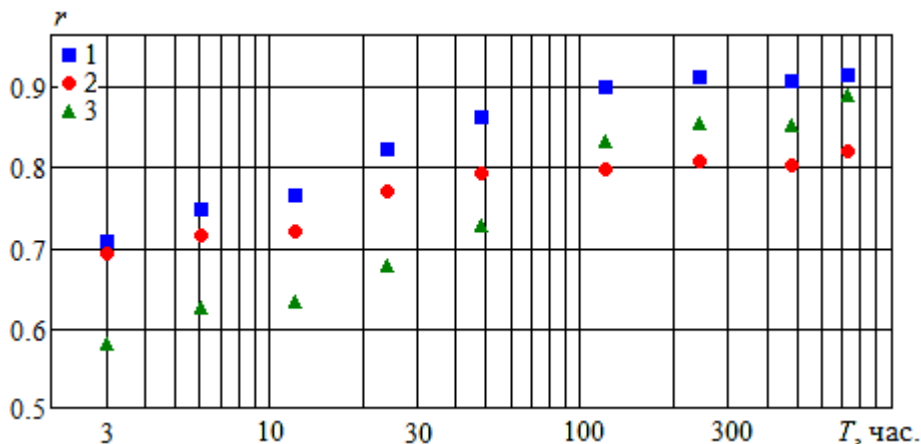


Рисунок 6 – КПК сумм осадков МС Калининград и МС Балтийск (1), МС Советск (2), МС Железнодорожный (3) в зависимости от периода наблюдений в 2017 году

В разные годы имеются некоторые количественные различия, но качественно зависимость КПК от T во все годы одинакова. При $T = 3$ часа КПК невелик (стохастическая связь между суммами осадков разных МС слабая). С увеличением T он растет, достигая наибольших значений при $T = 480$ или 720 часов (20 или 30 суток), далее КПК, практически, не увеличивается.

В табл. 4-6 представлены результаты расчета КПК между максимальными суммами осадков на разных МС КО. С увеличением T наблюдается тенденция небольшого роста значений КПК. Однако даже между максимальными 30-суточными суммами осадков наибольшее значение КПК (МС Калининград – МС Советск) равно 0,610, не достигая уровня значимости 0,7.

Таблица 4 – КПК между максимальными суммами осадков МС: 3-часовых (выше главной диагонали), 12-часовых (ниже главной диагонали)

МС	Советск	Балтийск	Калининград	Железнодорожный
Советск	1	0,194	0,088	0,153
Балтийск	0,112	1	-0,005	0,082
Калининград	0,248	0,091	1	0,056
Железнодорожный	0,242	-0,113	0,114	1

Таблица 5 – КПК между максимальными суммами осадков МС: 24-часовых (выше главной диагонали), 48-часовых (ниже главной диагонали)

МС	Советск	Балтийск	Калининград	Железнодорожный
Советск	1	0,213	0,378	0,438
Балтийск	0,214	1	0,285	-0,036
Калининград	0,503	0,350	1	0,322
Железнодорожный	0,438	-0,028	0,357	1

Таблица 6 – КПК между максимальными 30-суточными суммами осадков (выше главной диагонали), между годовыми суммами (ниже главной диагонали)

МС	Советск	Балтийск	Калининград	Железнодорожный
Советск	1	0,387	0,610	0,457
Балтийск	0,423	1	0,607	0,212
Калининград	0,775	0,635	1	0,572
Железнодорожный	0,757	0,344	0,687	1

Для сравнения в табл. 6 ниже главной диагонали КПК между суммами годовых осадков МС КО. Здесь в двух случаях превышен уровень значимости, КПК (МС Калининград – МС Железнодорожный) 0,687 – немногим ниже.

Представляет интерес возможность восстановления ряда наблюдений за максимальными суммами осадков по данным с большим периодом наблюдений T . Чтобы оценить такую возможность были рассчитаны соответствующие КПК. Результаты расчета по двум МС КО размещены в табл. 7.

Таблица 7 – КПК между суммами осадков при разных периодах наблюдений МС Советск (выше главной диагонали) и МС Калининград (ниже главной диагонали)

Период наблюдений	Годовые суммы	Максимальные суммы осадков				
		30-сут.	48-час.	24-час.	12-час.	3-час
Годовые	1	0,747	0,505	0,518	0,379	0,244
30-сут.	0,730	1	0,592	0,620	0,508	0,337
48-час.	0,332	0,561	1	0,902	0,716	0,606
24-час.	0,299	0,475	0,944	1	0,843	0,730
12-час.	0,323	0,432	0,834	0,903	1	0,887
3-час.	0,317	0,378	0,609	0,733	0,854	1

По табл. 7 значимая стохастическая связь у годовых сумм осадков только с максимальными 30-суточными. Ряды максимальных 3-часовых сумм осадков можно восстанавливать по 12- и 24-часовым. Для примера на рис. 7 показана связь между максимальными суммами осадков 12- и 3-часовыми по МС Советск. Индекс детерминации линейной аппроксимации получился вполне удовлетворительным $R^2 = 0,787$.

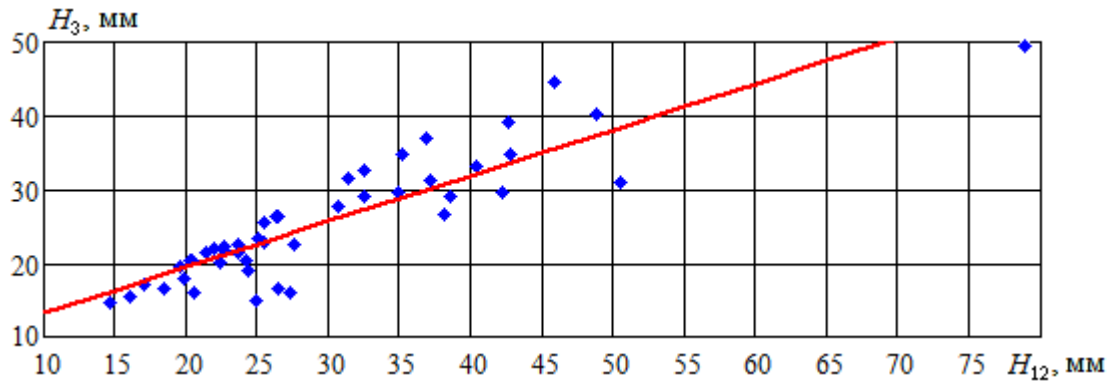


Рисунок 7 – Связь между максимальными суммами осадков 12- и 3-часовыми (МС Советск). Точки – результаты наблюдений, линия аппроксимация первого порядка

Заключение

Таким образом, была выполнена обработка результатов 8-срочных наблюдений за осадками из архива ФГБУ ВНИИ гидрометеорологической информации по 4-м метеорологическим станциям Калининградской области (МС Советск, МС Балтийск, МС Калининград, МС Железнодорожный). Общий объем массива за 45 лет наблюдений (1977-2021) – более полумиллиона числовых данных.

Наибольшая средняя многолетняя сумма осадков КО наблюдалась на МС Калининград (821 мм), годовой максимум – 1214 мм в 2007 году. Что связано с особым микроклиматом города Калининграда [10]. Здесь же была зафиксирована наибольшая 24-часовая сумма осадков то табл. 2: 138,5 мм в 2005 году. Из 4-х МС меньше всего выпадает осадков в Балтийске, среднее многолетнее значение – 634,5 мм в год.

Были рассчитаны коэффициенты парной корреляции r между суммами осадков на разных станциях R_T в зависимости от периода наблюдений T . Во всех исследованных случаях зависимость КПК от T во все годы одинакова. При $T = 3$ часа КПК невелик (стохастическая связь между суммами осадков разных МС слабая). С увеличением T он растет, достигая наибольших значений при $T = 480$ или 720 часов (20 или 30 суток), далее КПК, практически, не увеличивается.

Результаты расчета КПК между максимальными суммами осадков на разных МС КО показали, что с увеличением T наблюдается тенденция небольшого роста значений КПК. Однако даже между максимальными 30-суточными суммами осадков наибольшее значение КПК (МС Калининград – МС Советск) равно 0,610, не достигая уровня значимости 0,7. Значимая стохастическая связь у годовых сумм осадков только с максимальными 30-суточными. Ряды максимальных 3-часовых сумм осадков можно восстанавливать по 12- и 24-часовым. При этом индекс детерминации линейной аппроксимации получился вполне удовлетворительным $R^2 > 0,7$.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 22-27-20016.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 2. Влияние изменения климата на водный режим рек России в XXI веке / Гельфан А.Н., Гусев Е.М., Калугин А.С. и др. // Водные ресурсы. 2022. Т. 49, № 3. С. 270-285.

2. Coles S., Pericchi L.R., Sisson S. A fully probabilistic approach to extreme rainfall modeling. *Journal Hydrology*. 2003. Vol. 273, pp. 35–50.
3. Veneziano D., Langousis A., Lepore C. New asymptotic and preasymptotic results on rainfall maxima from multifractal theory. *Water Resources Research*. 2009. Vol. 45; W11421.
4. Клименко Д.Е., Корепанов Е.П. Картирование суточного слоя осадков обеспеченностью $P=1\%$ на территории деятельности Уральского УГМС при расчетах стока дождевых паводков по формуле предельной интенсивности // *Географический вестник*. 2012. № 3. С. 54-63.
5. Палагин Е.В., Стрелков А.К., Павлухин А.А., Быкова П.Г. Определение расчетного слоя осадков при проектировании очистных сооружений поверхностного стока // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2020. № 3. С. 41-45.
6. Palagin E.D., Strelkov A.K., Pavluhin A.A. Rain precipitation parameters for the design of surface effluent treatment facilities from the territory of industrial enterprises. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 720. ID 012021.
7. Palagin E.D., Strelkov A.K., Pavluhin A.A. Rainfall parameters for the design of surface water treatment facilities. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 775. ID 012094.
8. Наумов В.А. Использование специализированных массивов данных для климатических исследований // *Вестник научно-методического совета по природообустройству и водопользованию*. 2020. № 18. С. 52-59.
9. ФГБУ ВНИИ гидрометеорологической информации. Специализированные массивы данных для климатических исследований [Электронный ресурс]. Режим доступа – по паролю: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml> (дата обращения: 03.03.2023).
10. Баринаева Г.М. Калининградская область: Климат. Калининград: Изд-во «Янтарный сказ», 2002. 196 с.

REFERENCES

1. Gel'fan A.N., Gusev E.M., Kalugin A.S. et al. *Stok rek Rossii pri proiskhodyashchih i prognoziruemyh izmeneniyah klimata: obzor publikacij*. 2. *Vliyanie izmeneniya klimata na vodnyj rezhim rek Rossii v XXI veke* [Runoff of Russian rivers under current and projected climate changes: a review of publications. 2. The impact of climate change on the water regime of Russian rivers in the XXI century]. *Vodnye resursy*. 2022. Vol. 49, No. 3, pp. 270-285.
2. Coles S., Pericchi L.R., Sisson S. A fully probabilistic approach to extreme rainfall modeling. *Journal Hydrology*. 2003. Vol. 273, pp. 35–50.
3. Veneziano D., Langousis A., Lepore C. New asymptotic and preasymptotic results on rainfall maxima from multifractal theory. *Water Resources Research*. 2009. Vol. 45; W11421.
4. Klimenko D.E., Korepanov E.P. *Kartirovanie sutochnogo sloya osadkov obespechennost'yu $R=1\%$ na territorii deyatel'nosti Ural'skogo UGMS pri raschetah stoka dozhdevykh pavodkov po formule predel'noj intensivnosti* [Mapping of the daily precipitation layer with a security of $P = 1\%$ in the territory of the Ural UGMS activity when calculating the runoff of rain floods according to the formula of maximum intensity]. *Geograficheskij vestnik*. 2012. No. 3, pp. 54-63.
5. Palagin E.V., Strelkov A.K., Pavluhin A.A., Bykova P.G. *Opreделение raschetnogo sloya osadkov pri proektirovani i ochistnykh sooruzhenij poverhnostnogo stoka* [Determination of the calculated precipitation layer in the design of surface runoff treatment facilities]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2020. No. 3, pp. 41-45.
6. Palagin E.D., Strelkov A.K., Pavluhin A.A. Rain precipitation parameters for the design of surface effluent treatment facilities from the territory of industrial enterprises. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 720. ID 012021.

7. Palagin E.D., Strelkov A.K., Pavluhin A.A. Rainfall parameters for the design of surface water treatment facilities. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 775. ID 012094.
8. Naumov V.A. *Ispol'zovanie specializirovannykh massivov dannykh dlya klimaticheskikh issledovaniy* [Use of specialized data arrays for climate research]. *Vestnik nauchno-metodicheskogo soveta po prirodoobustrojstvu i vodopol'zovaniyu*. 2020. No. 18, pp. 52-59.
9. *FGBU VNII gidrometeorologicheskoy informacii. Specializirovannyye massivy dannykh dlya klimaticheskikh issledovaniy* [FSBI Research Institute of Hydrometeorological Information. Specialized data sets for climate research]. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://aisori.m.meteo.ru/waisori/index.xhtml> (date of application: 03.03.2023).
10. Barinova G.M. *Kaliningradskaya oblast': Klimat* [Kaliningrad region: Climate]. Kaliningrad: Publ. Yantarnyj skaz, 2002. 196 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Наумов Владимир Аркадьевич – доктор технических наук, профессор, Калининградский государственный технический университет (236022, Россия, г. Калининград, Советский пр-т 1, e-mail: van-old@mail.ru)

Naumov Vladimir Arkad'evich – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Kaliningrad State Technical University (236022, Russia, Kaliningrad, Sovetsky ave. 1, e-mail: van-old@mail.ru)

Алиева Арзу Халидовна – ведущий консультант отдела культуртехнической, химической и агролесомелиорации, Агентство мелиорации Калининградской области (236022, Россия Калининград, ул. Д. Донского, д. 11, e-mail: me4ta-1996@mail.ru).

Aliyeva Arzu Khalidovna – Leading consultant of the Department of Cultural, Chemical and Agroforestry, the Agency of Reclamation of the Kaliningrad region (236022, Russia Kaliningrad, D. Donskoy str., 11, e-mail: me4ta-1996@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 25.02.2023; одобрена после рецензирования 15.03.2023, принята к публикации 28.03.2023.

The article was submitted 25.02.2023; approved after reviewing 15.03.2023; accepted for publication 28.03.2023.