

УДК 574:911.3

ИЗМЕНЕНИЕ СЛОЯ ОСАДКОВ В ГОРОДЕ КАЛИНИНГРАДЕ И СОСЕДНИХ РЕГИОНАХ

В.А. Наумов, Л.В. Маркова

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,
Россия, 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
E-mail: van-old@rambler.ru

Найдены уравнения линейной регрессии, связывающие годовые суммы осадков в городах Калининград, Каунас, Минск, Лиепая, Рига. Восстановлены недостающие элементы и построен ряд годовых сумм осадков в Калининграде за 1891-2011 гг. Проанализировано изменение месячных норм слоя осадков.

слой осадков, годовые суммы, корреляция, восстановление, нормы осадков

Данные об осадках за год нужны для анализа тенденций изменения климатических условий, проведения водобалансовых расчетов. При этом важно, чтобы ряд годовых осадков был непрерывным. В [1] приведены сведения об осадках в Кенигсберге с 1891 г. К сожалению, и в [1], и в других источниках отсутствует информация об осадках на территории Восточной Пруссии на рубеже 30-х и 40-х годов XX в. По этой причине восстановить пропуски в измерениях месячного слоя осадков с необходимой точностью весьма затруднительно.

В этом случае их можно заполнить среднемесячными (среднегодовыми) значениями или попытаться воссоздать с помощью анализа интегрально-разностных кривых стока рек [2]. Первый подход представляется очень неточным, а второй невозможен в нашей ситуации, так как отсутствуют наблюдения за речным стоком в Восточной Пруссии за часть лет второй мировой войны. Другой метод предполагает восстанавливать сезонные и годовые суммы по измерениям метеостанций ближайших областей с похожими климатическими условиями (см., например, [3]). В подобном восполнении часто допускается заметная погрешность, которая, впрочем, может быть оценена.

Из архива [4] были взяты годовые суммы осадков метеостанций, указанных в табл. 1. Для первоначального анализа корреляции оказалось возможным использовать данные за 38 лет, в которые измерения осуществлялись на всех семи метеостанциях. Норма осадков за исследованные годы на этих станциях варьируется от 621 (Рига) до 765 мм (Калининград). Коэффициенты вариации годовых осадков существенно не отличаются.

Были рассчитаны коэффициенты корреляции между суммами годовых осадков в Калининграде и в других населенных пунктах (см. табл. 1). По величине коэффициента корреляции наиболее тесная стохастическая связь прослеживается с измерениями осадков в Риге. В двух случаях коэффициент корреляции был меньше 0,6 (Вильнюс, Таллинн). Однако при низких значениях коэффициентов

корреляции не исключается наличие нелинейной стохастической связи [5]; для проверки данного предположения были вычислены индексы корреляции (теоретическое корреляционное отношение):

$$I_{1,0} = \sqrt{1 - \sigma_0^2 / s_0^2}, \quad (1)$$

где s_0^2 , σ_0^2 – дисперсия и остаточная дисперсия годовой суммы осадков в Калининграде соответственно.

Таблица 1. Метеостанции, измерения которых были использованы при восстановлении годовых сумм осадков

Table 1. The meteorological stations which measurements have been used at restoration of the annual sums of deposits

Номер метеостанции	Метеостанция		Годовые суммы осадков				Корреляция	
	Город, в котором расположена станция	Расстояние от Калининграда, км	Общее количество измерений за 1936-1991 гг.	В том числе совместных с метеостанцией в Калининграде	Многолетняя средняя сумма осадков, мм	Коэффициент вариации	Коэффициент корреляции годовых сумм осадков $r_{0,1}$	Индекс корреляции годовых сумм осадков $I_{0,i}$
0	Калининград	0	43	43	765	0,177	1	1
1	Каунас	220	56	43	624	0,166	0,638	0,719
2	Рига	330	48	42	621	0,148	0,710	0,738
3	Минск	470	52	40	636	0,173	0,601	0,602
4	Лиепая	200	50	42	662	0,177	0,687	0,696
5	Вильнюс	320	54	43	657	0,146	0,545	0,622
6	Таллинн	580	51	43	630	0,176	0,563	0,565

Индекс корреляции с рядом осадков в Таллинне меньше 0,6, поэтому этот ряд не используется для восстановления. Метеостанции показаны на рис. 1.

За 1941 г. имеются наблюдения метеостанции г. Каунаса. Так как статистическая связь суммарного годового слоя осадков в Калининграде R_0 и Каунасе R_1 формируется за счет присутствия случайной составляющей в структуре обеих сравниваемых величин, то за ее оценку нужно принимать линию, соответствующую центральной оси эллипса рассеяния переменных [6]. Эта линия занимает среднее положение между регрессиями R_0 по R_1 (2) и R_1 по R_0 (3) и описывается уравнением (4):

$$R_0 = \bar{R}_0 + r_{01} \cdot \left(R_1 - \bar{R}_1 \right) \cdot \sigma_0 / \sigma_1; \quad (2)$$

$$R_1 = \bar{R}_1 + r_{01} \cdot \left(R_0 - \bar{R}_0 \right) \cdot \sigma_1 / \sigma_0; \quad (3)$$

$$R_0 = \bar{R}_0 + \left(R_1 - \bar{R}_1 \right) \cdot \sigma_0 / \sigma_1, \quad (4)$$

где $\bar{R}_0 = 765$ мм; $\bar{R}_1 = 624$ мм — средние значения переменных R_0 и R_1 ; $\sigma_0 = 136$ мм, $\sigma_1 = 104$ мм — их среднеквадратические отклонения.

Особенность приведенного уравнения (4) заключается в том, что в указанных условиях оно характеризует связь не исходных величин, а их детерминированных составляющих. Вычисляя величины в формуле (4) и раскрывая скобки, получим связь годовых сумм осадков (см. рис. 2)

$$R_0 = f1 \left(R_1 \right) = 1,307 \cdot R_1 - 50,3. \quad (5)$$

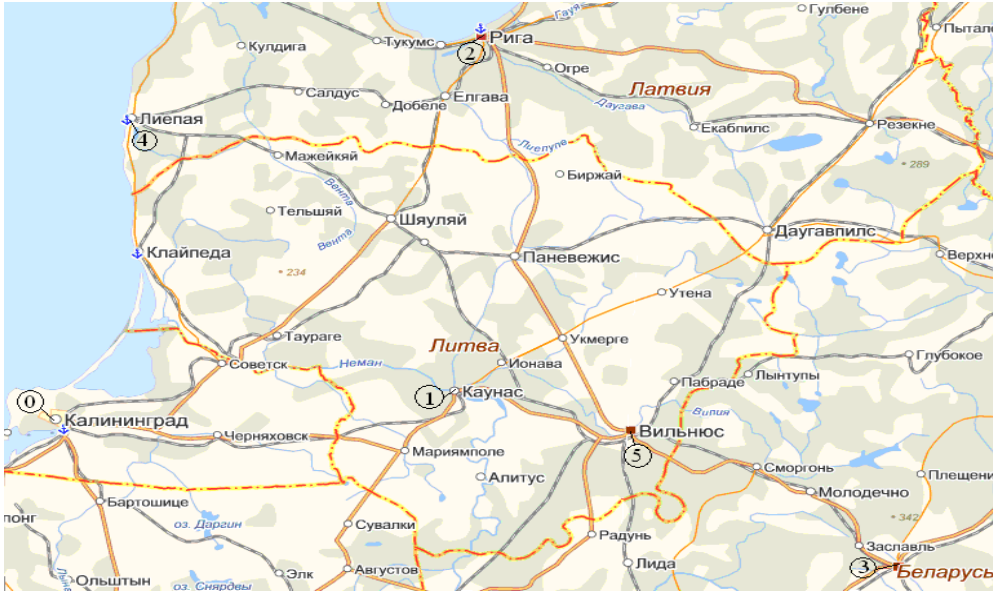


Рис. 1. Карта метеостанций: 0 – Калининград; 1 – Каунас; 2 – Рига; 3 – Минск; 4 – Лиепая; 5 – Вильнюс

Fig. 1. The map of meteorological stations: 0 – Kaliningrad; 1 – Kaunas; 2 – Riga; 3 – Minsk; 4 – Liepaja; 5 - Vilnius

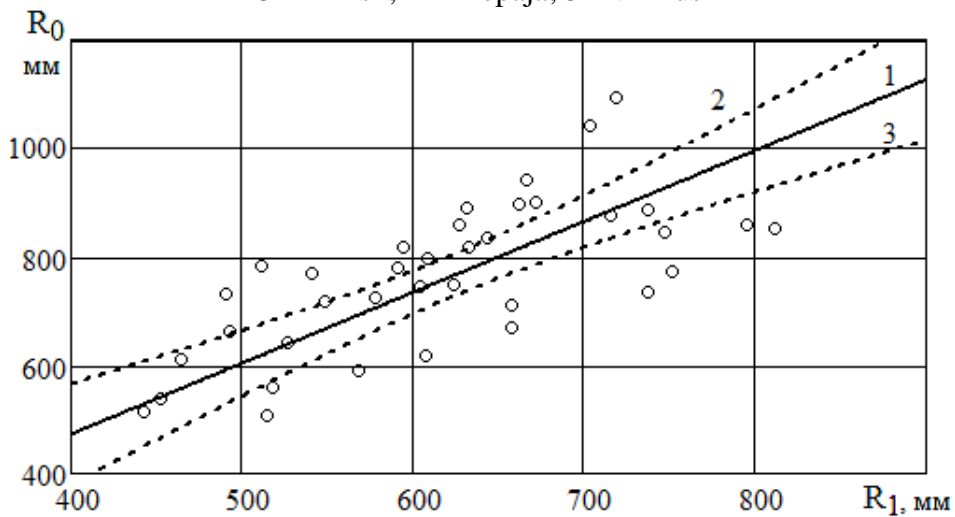


Рис. 2. Связь слоя суммарных годовых осадков в Калининграде R_0 и Каунасе R_1 : точки – опытные данные; 1 – результаты расчета по формуле (5); 2 и 3 – верхняя и нижняя границы доверительного интервала по формулам (6), (7)

Fig. 2. Correlation of total annual deposits layer in Kaliningrad R_0 and in Kaunas R_1 : points - the skilled data; 1 - results of calculation under the formula (5); 2 both 3 - the top and bottom borders of a confidential interval under formulas (6), (7)

Найдем 95%-ный доверительный интервал для уравнения линейной регрессии по формулам (6), (7) из [7]. Двухсторонний уровень значимости $2\alpha = 1 - 0,95 = 0,05$; $\alpha = 0,05/2 = 0,025$. По таблице распределения Стьюдента [7] при числе степеней свободы $n-2 = 36$ находим квантиль $t_{1-\alpha} = t_{0,975} = 2,028$.

$$\varphi_1(R_1) = f_1(R_1) - t_\gamma G \sqrt{\frac{1 + \frac{(R_1 - \bar{R}_1)^2}{\sum_{j=1}^n (R_{1j} - \bar{R}_1)^2}}{n}}; \quad (6)$$

$$\varphi_1(R_1) = f_1(R_1) + t_\gamma G \sqrt{\frac{1 + \frac{(R_1 - \bar{R}_1)^2}{\sum_{j=1}^n (R_{1j} - \bar{R}_1)^2}}{n}}; \quad (7)$$

$$\bar{R}_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_{1j} = 624 \text{ мм}, \quad G = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{j=1}^n (R_{0j} - f_1(R_{1j}))^2} = 117 \text{ мм}, \quad (8)$$

где $n = 38$ – объем выборки; \bar{R}_1 – годовая норма осадков в г. Каунасе за рассматриваемый период; G – среднее квадратическое отклонение опытных данных от прямой (5).

Средняя относительная погрешность аппроксимации, рассчитанная по формуле (6), составляет $\varepsilon = 14,3 \%$.

$$\varepsilon = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{R_{0i}}{f_1(R_{1i})}\right)^2}, \quad (9)$$

где R_{0i} и R_{1i} – экспериментальные данные о сумме годовых осадков в Калининграде и Каунасе соответственно. В 1941 г. $R_1 = 468$ мм; по (5) вычисляем $R_0 = 561$ мм; с учетом среднеквадратической погрешности аппроксимации получим 561 ± 79 мм.

Наименьшей погрешности аппроксимации 10,3 % удастся добиться в те годы, когда можно использовать данные четырех метеостанций: Каунас, Рига, Минск, Лиепая. Методом наименьших квадратов получена следующая аппроксимирующая зависимость первого порядка:

$$R_0 = f_6(R_1, R_2, R_3, R_4) = 0,320 \cdot R_1 + 0,470 \cdot R_2 + 0,225 \cdot R_3 + 0,268 \cdot R_4 - 46,7. \quad (10)$$

В те годы, в которые нет данных по всем метеостанциям, также получены линейные аппроксимирующие зависимости: Каунас и Рига (11), Каунас и Лиепая (12), Каунас и Минск (13), Каунас, Минск, Лиепая (14), Каунас, Рига, Лиепая (15), Каунас, Рига, Минск (16):

$$R_0 = f_2(R_1, R_2) = 0,452 \cdot R_1 + 0,758 \cdot R_2 + 12,1; \quad (11)$$

$$R_0 = f_3(R_1, R_4) = 0,487 \cdot R_1 + 0,558 \cdot R_4 + 92,2; \quad (12)$$

$$R_0 = f_4(R_1, R_3) = 0,598 \cdot R_1 + 0,478 \cdot R_3 + 88,2; \quad (13)$$

$$R_0 = f_4(R_1, R_3, R_4) = 0,424 \cdot R_1 + 0,287 \cdot R_3 + 0,431 \cdot R_4 + 32,8; \quad (14)$$

$$R_0 = f_5(R_1, R_2, R_4) = 0,355 \cdot R_1 + 0,525 \cdot R_2 + 0,345 \cdot R_4 - 10,9; \quad (15)$$

$$R_0 = f_6(R_1, R_2, R_3) = 0,375 \cdot R_1 + 0,614 \cdot R_2 + 0,303 \cdot R_3 - 43,1. \quad (16)$$

Результаты расчета по формулам (5), (10)-(16) занесены в табл. 2.

Таблица 2. Восстановленные значения годовых сумм осадков

Table 2. The restored values of the annual sums of deposits

№ п/п	Год	Годовая сумма осадков R_0 , мм	По каким метеостанциям восстановлены	Средняя ε , %
1	1934	696	Каунас, Лиепая	11,9
2	1935	823	Каунас, Лиепая	11,9
3	1936	707	Каунас, Лиепая	11,9
4	1937	646	Каунас, Лиепая	11,9
5	1938	693	Каунас, Лиепая	11,9
6	1939	750	Каунас, Минск, Лиепая	10,9
7	1940	742	Каунас, Минск	12,2
8	1941	468	Каунас	14,3
9	1942	616	Каунас, Лиепая	11,9
10	1943	712	Каунас, Лиепая, Рига	10,7
11	1944	670	Каунас, Рига	11,5
12	1945	893	Каунас, Минск, Рига	10,9
13	1946	616	Каунас, Минск, Рига	10,9
14	1947	658	Каунас, Минск, Лиепая, Рига	10,3
15	1948	756	Каунас, Минск, Лиепая, Рига	10,3

Для проверки результатов расчетов восстановленный ряд осадков был продлен до 1960 г. Рис. 3 показывает, что результаты расчетов по аппроксимирующим формулам вполне удовлетворительно согласуются с опытными данными за 1949-1960 гг.

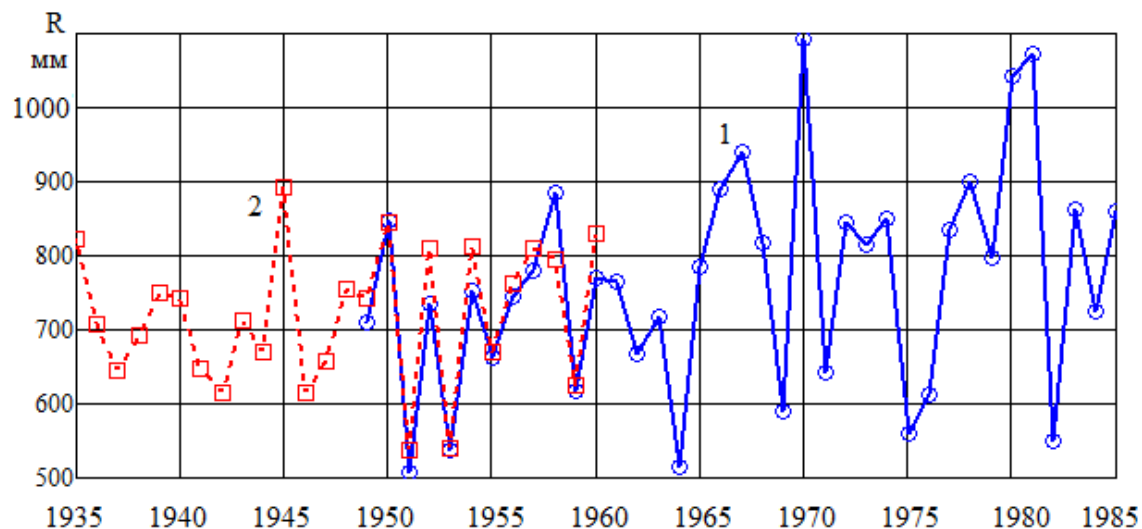


Рис. 3. Суммарные годовые осадки в Калининграде:

1 – опытные точки; 2 – восстановленные данные

Fig. 3. Total annual deposits in Kaliningrad: 1 - skilled points; 2 - the restored data

Восстановленный таким образом ряд годовых осадков в Калининграде осреднен по скользящим пятилетиям и представлен на рис. 4. Линейный тренд показывает заметное возрастание осадков: с 664 мм в 1891 г. до 836 мм (почти на 26 %) в 2011 г. Представляет интерес, как происходили эти изменения за период наблюдений. На рис. 5 показана разностная интегральная кривая, построенная по данным рис. 4 и в соответствии с формулой (17).

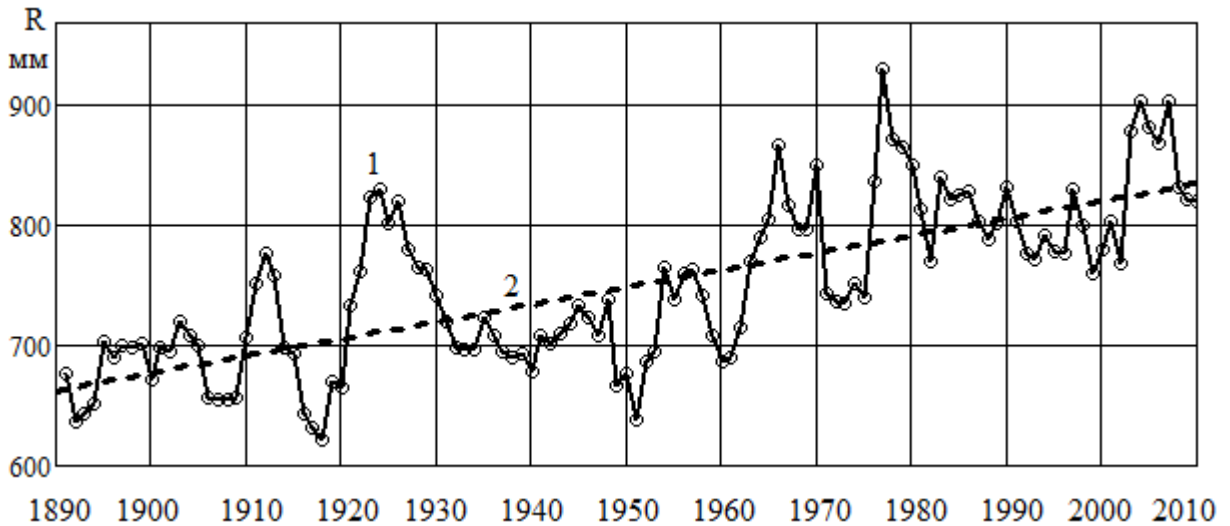


Рис. 4. Годовой слой осадков в Калининграде по пятилетним скользящим средним: 1 – опытные (и восстановленные) точки; 2 – линейный тренд
 Fig. 4. The annual layer of deposits in Kaliningrad on five years' sliding averages: 1 - skilled (and restored) points; 2 - a linear trend

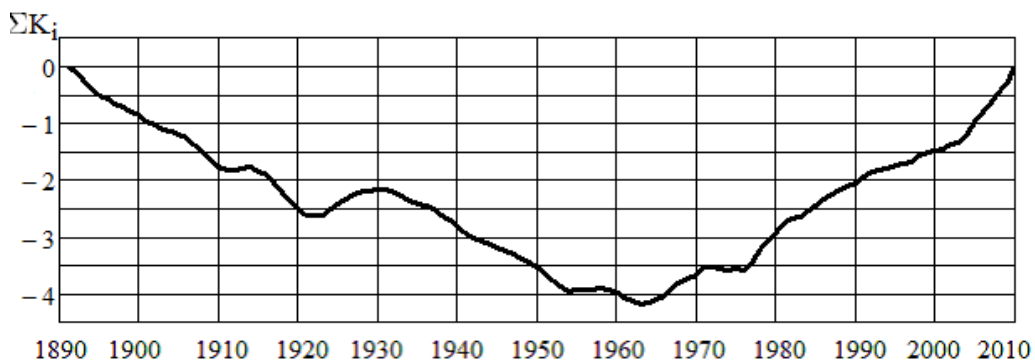


Рис. 5. Интегральная кривая годовых осадков в Калининграде
 Fig. 5. The integrated curve of annual deposits in Kaliningrad

$$\sum K_i = \sum_i \left(\frac{O_i}{\overline{R_0}} - 1 \right) \quad (17)$$

По рис. 5 видно, что с конца XIX в. до середины 60-х годов XX в. наблюдалось снижение разностной интегральной кривой осадков (маловодный период, исключение – на рубеже 30-х годов). После этого начался её подъем, многоводный период продолжается по настоящее время.

Норму осадков обычно считают за 30 лет. Среднегодовая сумма осадков в Калининграде за 1951-1980 гг. составила 757 мм, 1961-1990 – 803, 1971-2000 – 804, 1981-2010 – 818 мм. На рис. 6 показано, за счет осадков в каких месяца произошло возрастание. Монотонный существенный рост осадков наблюдался в январе-марте, июне; уменьшение — в сентябре, небольшое уменьшение — в июле.

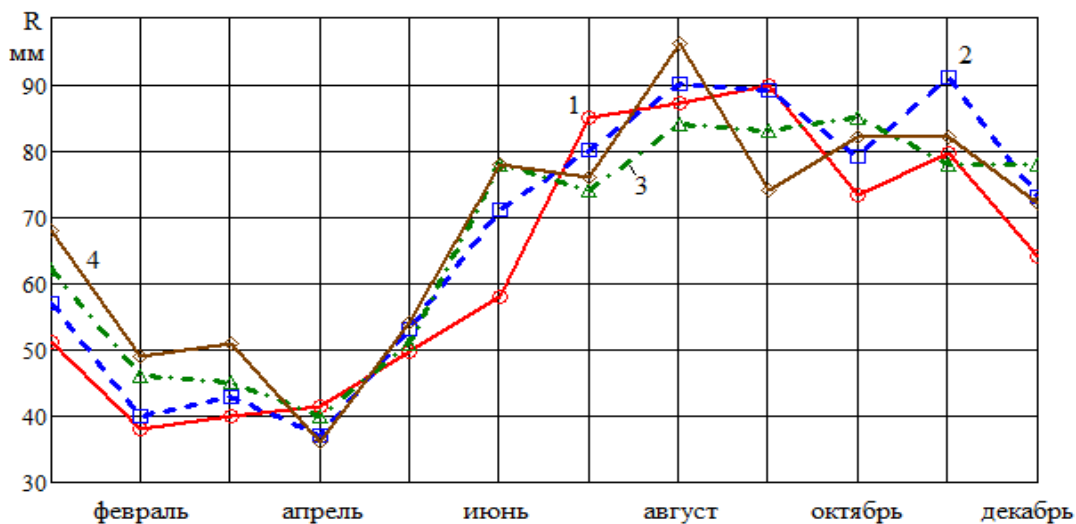


Рис. 6. Среднемесячный слой осадков в Калининграде («норма осадков»):

1 – 1951-1980 гг.; 2 – 1961-1990; 3 – 1971-2000; 4 – 1981-2010

Fig. 6. The monthly average layer of deposits in Kaliningrad («norm of deposits»):

1 - 1951-1980; 2 - 1961-1990; 3 - 1971-2000; 4 - 1981-2010

Рассчитаем коэффициент множественной корреляции между рядами осадков метеостанций 0-5 [5] $r_{0,12345} = 0,807$. Величина, близкая к единице, говорит о тесной связи одной величины (R_0) с совокупностью остальных.

Таким образом, доказано, что существует тесная стохастическая связь годовых осадков в Калининграде и других названных населенных пунктах. Восстановленный ряд позволяет с большей достоверностью исследовать динамику изменения годовых осадков в регионе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баринаова, Г.М. Калининградская область. Климат / Г.М. Баринаова. - Калининград, 2002. - 196 с.

2. Гилев, М.Л. Изменение осадков и стока рек на водосборе Кузнецкой котловины в XX веке / М.Л. Гилев // Общество. Среда. Развитие. - 2010. - № 4. - С. 227-231.

3. Дмитриева, В.А. Характеристика исходной информации и режим атмосферных осадков (на примере метеостанции Лиски) / В.А. Дмитриева // Вестник ВГУ. Сер. География и геоэкология. - 2003. - № 1. - С. 99-103.

4. Термограф: архивные данные температуры воздуха и количества осадков (Электронный ресурс). URL: http://thermograph.ru/mon/st_26702.htm (дата обращения: 16.09.12).

5. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика / А.И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

6. Иванов, Е.Г. Об особенностях формирования и способах описания статистических зависимостей в гидрологии / Е.Г. Иванов // Водное хозяйство России. - 2007. - № 2. – С. 22-26.

7. Сикан, А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / А.В. Сикан. – СПб.: РГГМУ, 2007. – 279 с.

THE DEPOSITS LAYER CHANGE IN THE CITY OF KALININGRAD AND THE NEXT REGIONS

V.A. Naumov, L.V. Markova

The equations of linear regress connecting the annual sums of deposits in the cities of Kaliningrad, Kaunas, Minsk, by Liepaja, Riga are found. Missing elements are restored and a number of the annual sums of deposits in Kaliningrad for 1891-2011 is constructed. Change of monthly norms of deposits layer is analysed.

layer of deposits, the annual sums, correlation, restoration, norms of deposits