



УДК 556.5:627.8

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ РЕКИ ПРЕГОЛИ (2006-2015)

В.А. Наумов

STATISTICAL ANALYSIS AVERAGE DAILY WATER FLOW OF THE PREGEL RIVER (2006-2015)

V.A. Naumov

Аннотация. Почти 60 % централизованного водоснабжения города Калининграда обеспечивается водозабором из реки Преголи. Среднегодовой сток реки Преголи, практически, оставался постоянным за 120 лет инструментальных наблюдений. Но внутригодовое распределение стока существенно изменилось. Поэтому задача исследования среднесуточных расходов воды в последнее десятилетие представляется весьма актуальной. Водность реки Преголи определяется по наблюдениям гидропоста в городе Гвардейске. Данные о среднегодовых и среднесуточных расходах реки Преголи (Гвардейск) за 2008-2014 годы были получены из Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов. Расходы воды за остальные годы рассчитаны по оперативным измерениям уровней из федеральной геоинформационной системы. Для оценки водности было использовано трехпараметрическое гамма-распределение. Средний расход воды в реке Преголе за 2006-2015 годы (77,2 м³/с) оказался несколько ниже многолетней нормы, что соответствует вероятности превышения $P = 57,3\%$. Были построены гидрографы реки Преголи в годы характерной водности: 2007 – наибольшей водности ($P = 5,38\%$); 2014 – наименьшей водности ($P = 96,6\%$); 2008 – средней водности ($P = 46,6\%$). Начало весеннего половодья с апреля-марта сдвинулось на более ранние сроки. Расходы в период половодья могут иметь два и даже три (в 2014 г.) пика расхода, что обусловлено колебаниями температурных условий в январе-марте. Были рассчитаны коэффициенты парной корреляции между среднесуточными расходами разных лет. Большие величины коэффициентов парной корреляции говорят о подобию гидрографов в соответствующие годы. Самыми типичными являются гидрографы 2008 и 2009 года. Среднее значение коэффициента внутригодовой зарегулированности стока за рассматриваемые годы 0,709. Стохастическая связь между расходами воды остается значимой вплоть до 7 суток.

Ключевые слова: водные ресурсы; река Преголя; гидрология; гидрометрия; расходы воды; коэффициент корреляции; автокорреляционная функция; коэффициент внутригодовой зарегулированности стока.

Abstract. Almost 60% of the centralized water supply of the city of Kaliningrad is provided by the water intake from the Pregel River. Mean annual discharge of the Pregel River, almost remained constant over the 120 years of instrumental observations. But the intra-annual distribution of runoff has changed significantly. Therefore, the objective of the study the average daily water consumption in the last decade is very important. The water content of the Pregel River is determined according to the observations of the station in the town of Gvardeysk. Data on average annual and average daily costs of the Pregel River (Gvardeysk) for 2008 to 2014 were obtained from the Automated information system of state monitoring of water objects.

Water consumption for other years have been calculated on the operational measurements of the levels of Federal geographic information system. For assessing the water content was used three-parameter gamma distribution. Average water consumption in the Pregel River for 2006-2015 (77,2 m³/s) was slightly below the multiyear average, which corresponds to a probability of exceedance $P = 57,3\%$. Was built hydrographs of the Pregel River in years characteristic water content: 2007 – the highest water content ($P = 5,38\%$); 2014 – the smallest water content ($P =$

96,6%); 2008 – average water content ($P = 46.6 \%$). The beginning of the spring flood from April-March has moved to an earlier time. Expenses during floods can have two or even three (2014) peak discharge due to variations in temperature conditions in January-March. We calculated the coefficients of pair correlation between the average daily expenditure in different years. Large values of the coefficients of pair correlation are saying about the similarity of the hydrographs in the respective years. The most typical are the hydrographs of 2008 and 2009. The average value of the coefficient of within-year flow regulation, for the considered years 0.709. Stochastic relation between the water flow remains significant up to 7 days.

Keywords: water resources; Pregel River; hydrology; hydrometry; water flow; coefficient of correlation; autocorrelation function; the coefficient of intra-annual flow regulation.

Введение

Проблема обеспечения водными ресурсами в условиях изменения климата привлекает внимание многих исследователей [1-6]. Для водоснабжения города Калининграда используется вода реки Преголя (59,5%), вода системы питьевых водохранилищ (18,1%) и из подземных источников (артезианских скважин) (22,5%) [7]. В [5-6] было установлено, среднегодовой сток реки Преголи, практически, остается постоянным за 120 лет инструментальных наблюдений. Но существенно изменилось внутригодовое распределение стока. Поэтому задача исследования среднесуточных расходов воды в последнее десятилетие представляется весьма актуальной. Ближайшим к водозабору пунктом наблюдений является гидропост Преголя (Калининград). Однако уровни и расходы водотока, фиксируемые названным постом, очень часто определяются сгонно-нагонными явлениями, а не водностью реки. Это отдельная проблема, которая в данной статье не исследуется. Водность реки Преголи принято определять по наблюдениям гидропоста в городе Гвардейске [5].

Данные о среднегодовых и среднесуточных расходах реки Преголи (Гвардейск) за 2008-2014 годы были получены из Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов [8]. За остальные годы рассчитаны по оперативным уровням из федеральной геоинформационной системы [9]. Заметим, что данные [9] за 2015 год не прошли проверку, весьма вероятно, могут содержать ошибки. Использование аналогичного метода расчета в [6] привело к заниженному значению среднегодового расхода воды. Уточненное [6] значение среднегодового расхода воды реки Преголи (Гвардейск) приведено в табл. 1. Значение среднего расхода $57,4 \text{ м}^3/\text{с}$ в 2015 году следует считать оценочным, которое в дальнейшем может быть уточнено.

Таблица 1 – Среднегодовые расходы реки Преголи (Гвардейск) и соответствующие им обеспеченности

Показатель	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	65,7	134	84,2	68,2	67,5	88,5	85,8	75,0	44,3	57,4*
$P, \%$	75,1	5,38	46,6	71,4	72,4	40,4	44,2	60,8	96,6	86,0
φ	0,727	0,732	0,672	0,696	0,711	0,609	0,670	0,686	0,793	0,793
Водность		<i>max</i>	<i>mean</i>				<i>mean</i>		<i>min</i>	

* – значение рассчитано по оперативным данным [9], не прошедшим проверку.

Гидрографы реки Преголи

Для оценки водности была использована теоретическая кривая обеспеченности Крицкого-Менкеля (рис. 1) при следующих значениях параметров [10]: $\bar{Q} = 85,4 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_V = 0,3$; $C_S = 0,8$. По рис. 1 были найдены значения обеспеченности, соответствующие среднегодовым расходам в табл. 1.

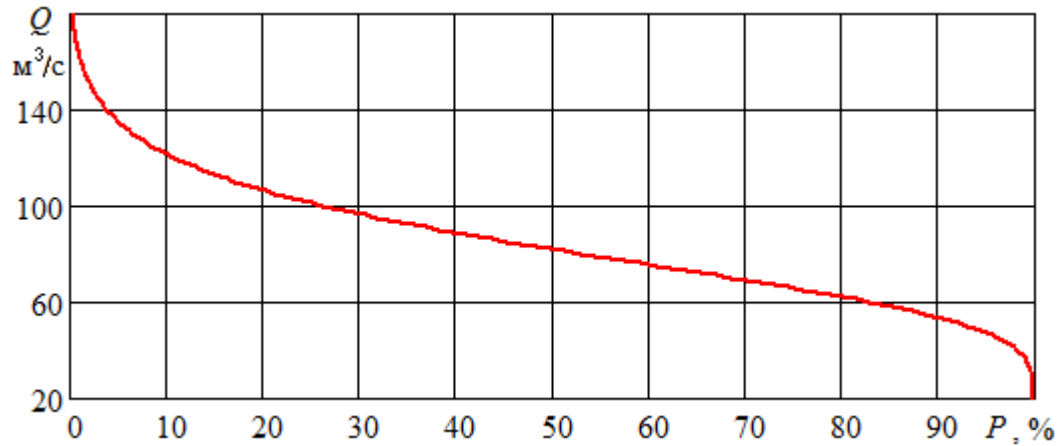


Рисунок 1 – Теоретическая вероятность превышения среднегодового уровня реки Преголи (Гвардейск) за период 1891-2015 годы

Средний расход воды в реке Преголе за 2006-2015 годы оказался несколько ниже \bar{Q} , составил $77,2 \text{ м}^3/\text{с}$, что соответствует вероятности превышения $P = 57,3\%$.

На рис. 2-4 построены гидрографы реки Преголи в годы характерной водности: 2007 – наибольшей водности $P = 5,38\%$; 2014 – наименьшей водности $P = 96,6\%$; 2008 – средней водности $P = 46,6\%$.

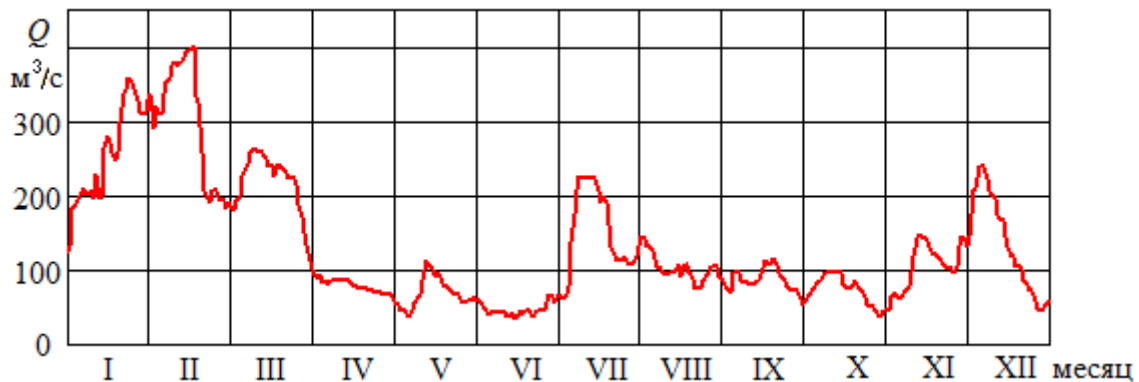


Рисунок 2 – Гидрограф реки Преголи (Гвардейск) в 2007 году

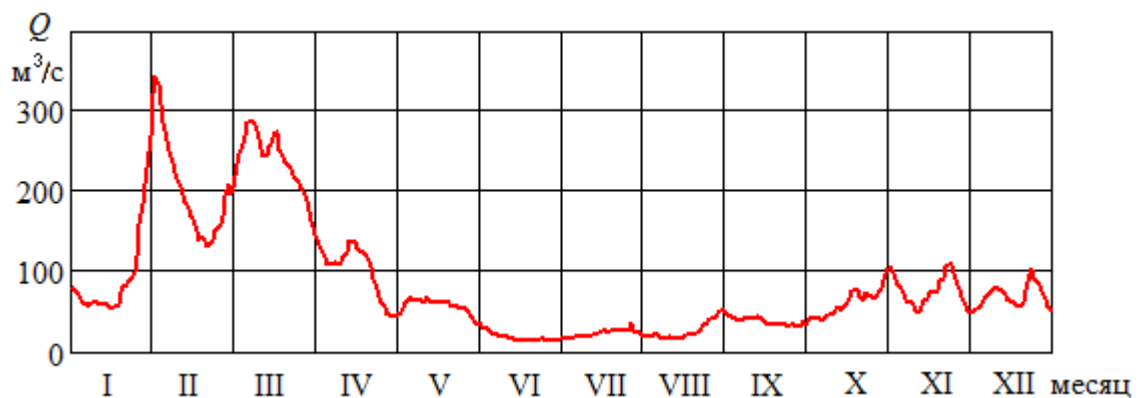


Рисунок 3 – Гидрограф реки Преголи (Гвардейск) в 2008 году

По рис. 2-4 начало весеннего половодья с апреля-марта сдвинулось на более ранние сроки. Расходы в период половодья могут иметь два и даже три (в 2014 г.) пика расхода, что обусловлено колебаниями температурных условий в январе-марте.

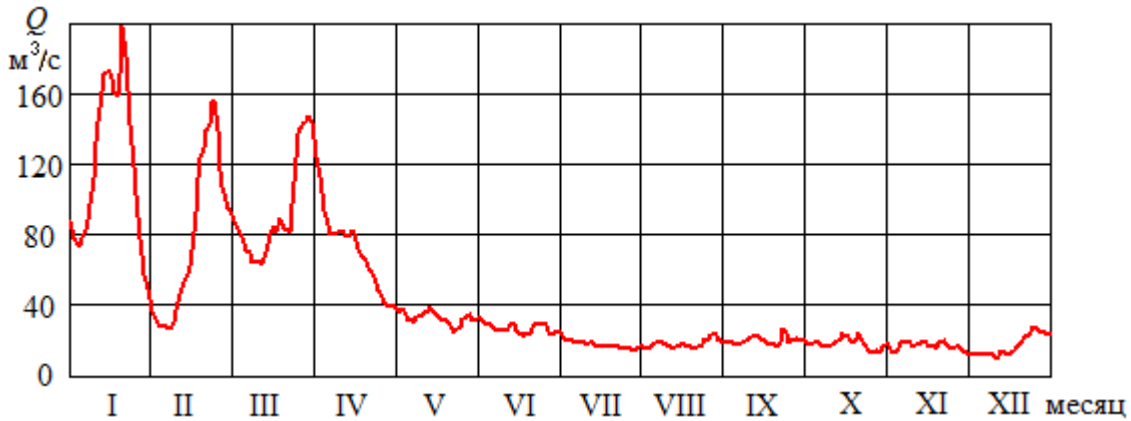


Рисунок 4 – Гидрограф реки Преголи (Гвардейск) в 2014 году

Коэффициенты парной корреляции среднесуточных расходов разных лет

Были рассчитаны коэффициенты парной корреляции между среднесуточными расходами разных лет (табл. 2) по формуле [11]:

$$r_{i,j} := \frac{\sum_{i,j=1}^n [(q_{i,j} - \bar{q}_i) \cdot (q_{i,j} - \bar{q}_j)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (q_{i,j} - \bar{q}_i)^2} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^n (q_{i,j} - \bar{q}_j)^2}} \quad (1)$$

Таблица 2 – Матрица коэффициентов парной корреляции среднесуточных расходов реки Преголи

Годы	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2006	1	-0.190	-0.055	0.095	0.254	-0.174	0.161	0.051	0.005	0.286
2007	-0.190	1	0.625	0.414	-0.037	0.701	0.143	0.388	0.468	0.374
2008	-0.055	0.625	1	0.700	0.428	0.384	0.123	0.426	0.444	0.290
2009	0.095	0.414	0.700	1	0.753	0.144	0.380	-0.016	0.448	0.251
2010	0.254	-0.037	0.428	0.753	1	-0.182	0.341	-0.098	0.310	0.114
2011	-0.174	0.701	0.384	0.144	-0.182	1	-0.155	0.51	0.285	0.263
2012	0.161	0.143	0.123	0.380	0.341	-0.155	1	-0.009	0.363	0.513
2013	0.051	0.388	0.426	-0.016	-0.098	0.510	-0.009	1	0.19	0.401
2014	0.006	0.468	0.444	0.448	0.310	0.285	0.363	0.190	1	0.606
2015	0.286	0.374	0.290	0.251	0.114	0.263	0.513	0.401	0.606	1
r_{cp}	0.143	0.389	0.436	0.417	0.288	0.278	0.286	0.284	0.412	0.410

Большие величины коэффициентов парной корреляции в табл. 2 говорят о подобии гидрографов в соответствующие годы. Наибольшие значения $r_{4,5} = 0,753$ (2009 и 2010 годы); $r_{2,6} = 0,701$ (2007 и 2011 годы); $r_{3,4} = 0,70$ (2008 и 2009 годы); $r_{2,3} = 0,625$ (2007 и 2008 годы). Значения $r_{i,j}$, близкие к нулю говорят о существенном отличии формы гидрографов за исследуемые годы, в частности, $r_{1,9} = 0,005$ (2006 и 2012 годы); $r_{7,8} = -0,009$ (2012 и 2013 годы) и т.д. Отрицательные значения $r_{i,j}$, скорее всего, связаны со статистической погрешностью.

По последней строке табл. 2 (средние коэффициенты парной корреляции) можно

сказать, что самый оригинальный гидрограф, отличный от остальных, был зафиксирован в 2006 ($r_{cp} = 0,143$). Самыми типичными являются гидрографы 2008 ($r_{cp} = 0,436$) и 2009 ($r_{cp} = 0,417$) года.

Частоты и продолжительность расходов

На рис. 5 построены средние за 10 лет частоты суточных расходов, на рис. 6 их продолжительность в течение года [12]:

$$Pr_j = \sum_{i=1}^j N_i . \quad (2)$$

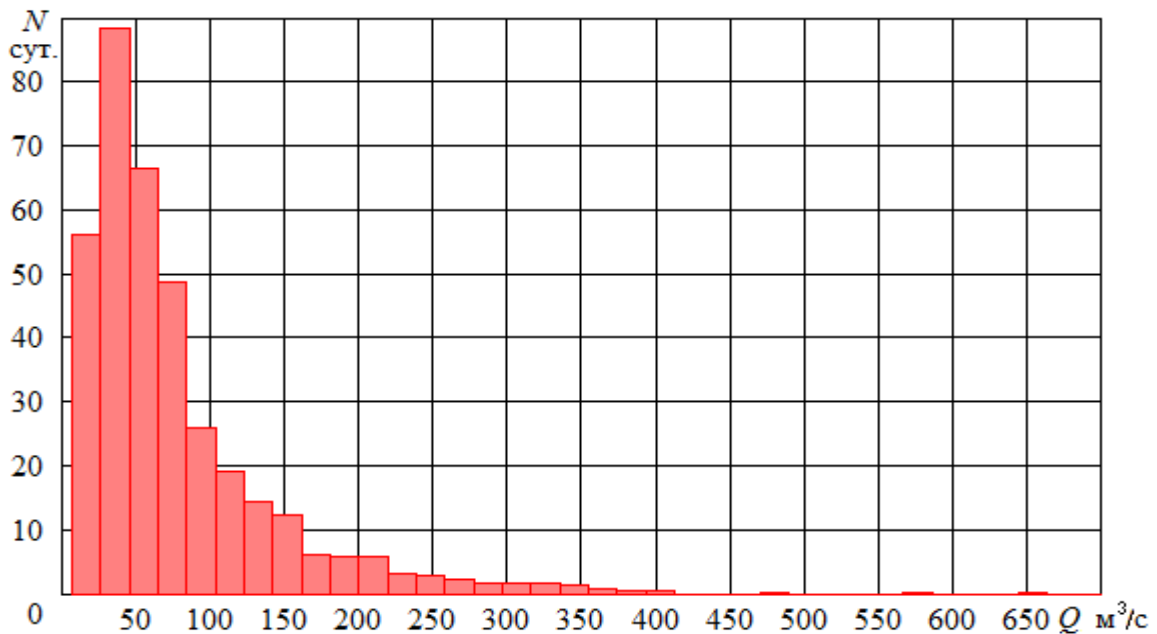


Рисунок 5 – Средние за 10 лет (2006-2015) частоты суточных расходов реки Преголи (Гвардейск)

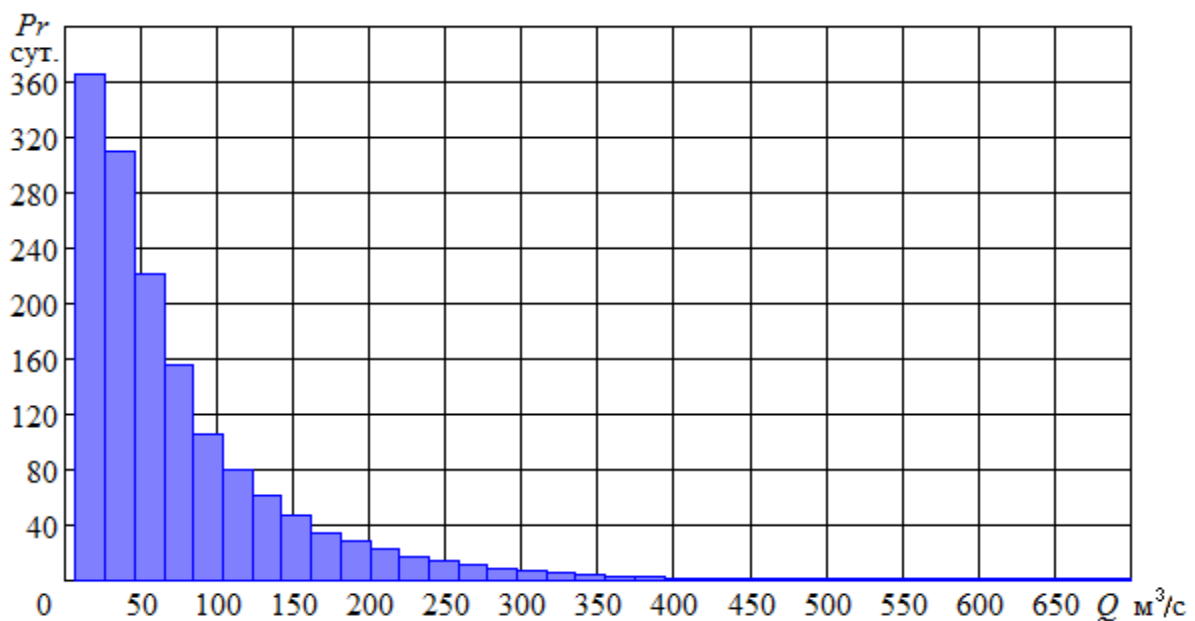


Рисунок 6 – Средние за 10 лет (2006-2015) продолжительности в году расходов реки Преголи (Гвардейск)

По рис. 6 составлена табл. 3 и построен рис. 7.

Таблица 3 – Средняя продолжительность расходов реки Преголи (в долях года)

P	0,01	0,05	0,1	0,25	0,5	0,75	0,9	0,95	0,99
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	345,7	223,2	167,3	104,8	66,6	43,9	29,5	23,2	18,2

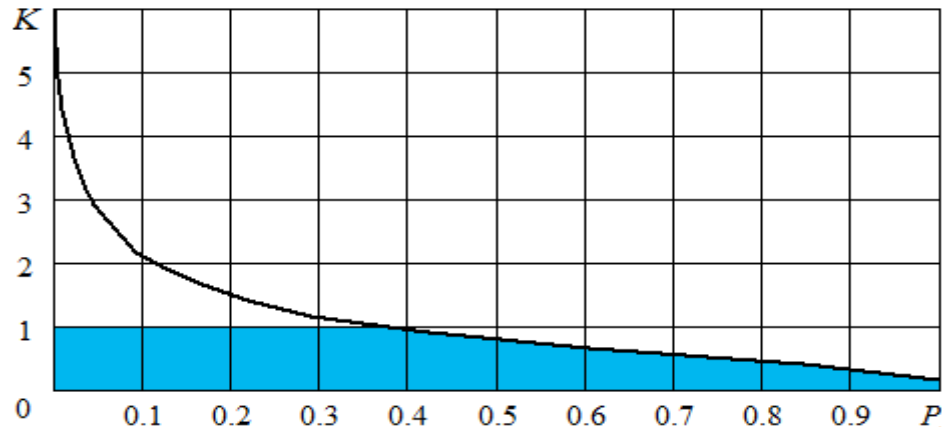


Рисунок 7 – График средней продолжительности расходов реки Преголи (в долях года)

Обобщенным показателем степени изменчивости стока в течение года является коэффициент внутригодовой зарегулированности стока φ , характеризующий долю устойчивого (базисного стока) в годовом объеме [13]. Величина этого коэффициента может быть определена графически как закрашенная площадь, ограниченная кривой продолжительности расходов, построенной в относительных единицах, и горизонтальной линией, соответствующей значению модульного коэффициента расхода $K = 1$ (рис. 7). Значения указанных коэффициентов занесены в табл. 1. Среднее значение за рассматриваемые годы $\bar{\varphi} = 0,709$. Большим значениям среднегодовых расходов соответствуют меньшие значения φ , так как базисный сток составляет меньшую долю в общем объеме годового стока. Коэффициент корреляции между указанными случайными величинами отрицательный, но по модулю – небольшой: $\text{corr}(\varphi, Q) = -0,402$. Поэтому исследование стохастической связи между ними должно быть продолжено.

Автокорреляционная функция

Значения автокорреляционной функции $R(k)$ между расходами смежных k суток были вычислены по формулам [11] (рис. 8):

$$R(k) := \frac{\sum_{i=k+1}^n [(Q_i - Qs1_k) \cdot (Q_{i-(k+1)} - Qs2_k)]}{\sqrt{\sum_{i=k+1}^n (Q_i - Qs1_k)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n-(k+1)} (Q_i - Qs2_k)^2}}, \quad (3)$$

$$Qs1_k = \frac{1}{n - (k + 1)} \cdot \sum_{i=k+1}^n Q_i; \quad Qs2_k = \frac{1}{n - (k + 1)} \cdot \sum_{i=1}^{n-(k+1)} Q_i. \quad (4)$$

где $Qs1_k, Qs2_k$ – вспомогательные средние расходы k -го порядка.

Значение автокорреляционной функции $R(1) = 0,984$ говорит о тесной стохастической связи (близкой к функциональной) между расходами соседних суток. Стохастическая связь между расходами остается значимой вплоть до 7 суток, $R(7) = 0,705$. Впрочем, использование модели для прогнозирования требует построения автокорреляционной функции отдельно для периода половодья, дождевых паводков и межени. Что выходит за рамки данной статьи. Модуль автокорреляционной функции падает ниже 0,1 после 75 суток.

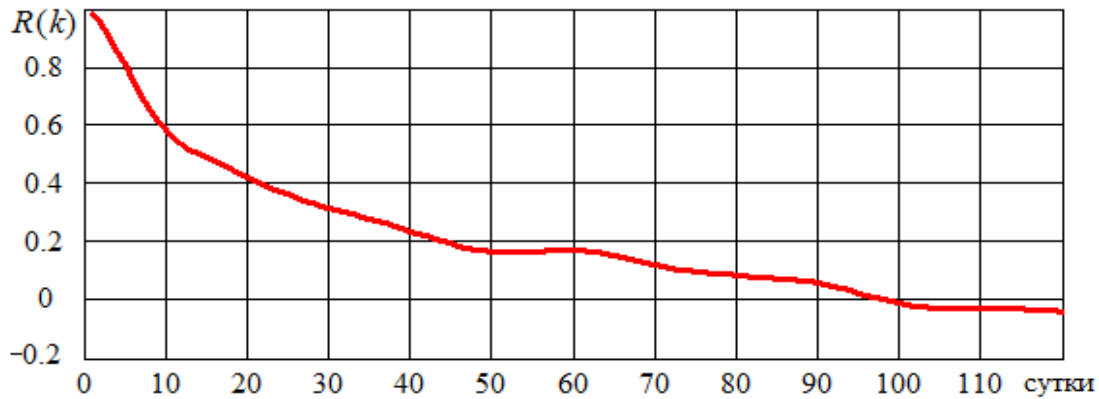


Рисунок 8 – Автокорреляционная функция между расходами смежных k суток реки Преголи (Гвардейск)

Заключение

1. Средний расход воды в реке Преголе за 2006-2015 годы ($77,2 \text{ м}^3/\text{с}$) оказался несколько ниже многолетней нормы $\bar{Q} = 85,4 \text{ м}^3/\text{с}$, что соответствует вероятности превышения $P = 57,3\%$.
2. Наибольшая водность в указанный период отмечена в 2007 году ($P = 5,38\%$); наименьшая – в 2014 году ($P = 96,6\%$).
3. По средним коэффициентам парной корреляции можно сказать, что самый оригинальный гидрограф, отличный от остальных, был зафиксирован в 2006. Самыми типичными являются гидрографы 2008 и 2009 года.
4. Начало весеннего половодья с апреля-марта сдвинулось на более ранние сроки. Расходы в период половодья могут иметь два и даже три пика расхода, что обусловлено колебаниями температурных условий в январе-марте.
5. Среднее значение коэффициента внутригодовой зарегулированности стока за рассматриваемые годы $\varphi = 0,709$. В многоводные годы, как правило, коэффициент меньше.
6. Стохастическая связь между расходами воды остается значимой вплоть до 7 суток.
7. Результаты исследований могут быть использованы при проведении инженерно-гидрометеорологических изысканий в бассейне реки Преголи.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания НИОКР 2017 года по теме: «Определение расходов и уровней воды в малых реках рыбохозяйственного значения».

ЛИТЕРАТУРА

1. Hurlimann, A., Dolnicar, S., Meyer, P. Understanding behaviour to inform water supply management in developed nations: A review of literature, conceptual model and research agenda. *Journal of Environmental Management*, 2009. Vol. 91(1), pp. 47-56.
2. Comair G.F., McKinney D.C., Maidment D.R. et al. Hydrology of the Jordan River basin: A GIS-based system to better guide water resources management and decision making. *Water Resources Management*, 2014. Vol. 28(4), pp. 933-946.

3. The role of hydrology towards water resources sustainability. Abstracts. XXIX Nordic Hydrological Conference (August 8-10, 2016). Kaunas, Lithuania. Printed by Aleksandras Stulginskis University Publishing House, 2016. 103 p. URL: <http://www.lei.lt/nordicwater2016/wp-content/uploads/2016/08/abstractA5.pdf> (дата обращения: 01.05.2017).
4. Mayer A., Mubako S., Ruddell B.L. Developing the greatest Blue Economy: Water productivity, fresh water depletion, and virtual water trade in the Great Lakes basin. *Earth's Future*, 2016. No 4. URL: http://waterfootprint.org/media/downloads/Mayer_et_al-2016-Earths_Future.pdf (дата обращения: 01.05.2017).
5. Наумов В.А., Маркова Л.В. Материалы инженерно-гидрометеорологических изысканий в бассейне реки Преголи. Внутригодовое распределение стока // Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2015. Т. 1, № 4. С. 47-55. [Электронный ресурс]. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2015/11/2015-№4-Наумов.pdf> (дата обращения: 01.05.2017).
6. Наумов В.А. Результаты статистического анализа региональных гидрологических и климатических рядов // Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2016. Т. 2. № 3. С. 46–56. [Электронный ресурс]. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2016/08/2016-N3-Naumov.pdf> (дата обращения: 01.05.2017).
7. Система водоснабжения МП КХ «Водоканал» [Электронный ресурс]. URL: <http://vk39.ru/sistema-vodosnabjenii/> (дата обращения: 01.05.2017).
8. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 08.03.2017).
9. ГИС-портал Центра регистра и кадастра [Электронный ресурс]. URL: <http://gis.waterinfo.ru/> (дата обращения: 01.05.2017).
10. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области). Утверждена приказом Невско-Ладожского БВУ Федерального агентства водных ресурсов от 9 декабря 2014, № 171 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2/> (дата обращения: 08.03.2017).
11. Наумов В.А. Методы обработки гидрологической информации // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования, 2015. Вып.7. М.: Изд-во ФГБОУ ВО «РГАУ им. К.А. Тимирязева». С. 144–150.
12. Практикум по гидрологии, гидрометрии и регулированию стока: учебное пособие / В.Е. Овчаров, Н.Н. Захаровская, И.В. Прошляков и др. М.: Агропромиздат, 1988. 224 с.
13. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.4. Вып.3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР / Под ред. В.Е. Водогрецкого. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 508 с.

REFERENCES

1. Hurlimann, A., Dolnicar, S., Meyer, P. Understanding behaviour to inform water supply management in developed nations: A review of literature, conceptual model and research agenda. *Journal of Environmental Management*, 2009. Vol. 91(1), pp. 47-56.
2. Comair G.F., McKinney D.C., Maidment D.R. et al. Hydrology of the Jordan River basin: A GIS-based system to better guide water resources management and decision making. *Water Resources Management*, 2014. Vol. 28(4), pp. 933-946.
3. The role of hydrology towards water resources sustainability. Abstracts. XXIX Nordic Hydrological Conference (August 8-10, 2016). Kaunas, Lithuania. Printed by Aleksandras Stulginskis University Publishing House, 2016. 103 p. URL: <http://www.lei.lt/nordicwater2016/wp-content/uploads/2016/08/abstractA5.pdf> (date accessed: 01.05.2017).

4. Mayer A., Mubako S., Ruddell B.L. Developing the greatest Blue Economy: Water productivity, fresh water depletion, and virtual water trade in the Great Lakes basin. *Earth's Future*, 2016. No 4. URL: http://waterfootprint.org/media/downloads/Mayer_et_al-2016-Earths_Future.pdf (date accessed: 01.05.2017).
5. Naumov V.A., Markova L.V. *Materialy inzhenerno-gidrometeorologicheskikh izyskaniy v bassejne reki Pregoli. Vnutrigodovoe raspredelenie stoka* [Materials engineering-hydrometeorological surveys in the basin of the Pregel river. Seasonal distribution of runoff]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii: elektronnyy zhurnal*, 2015. Vol. 1, No 4, pp. 47-55. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2015/11/2015-№4-Naumov.pdf> (date accessed: 01.05.2017).
6. Naumov V.A. *Rezultaty statisticheskogo analiza regional'nykh gidrologicheskikh i klimaticheskikh ryadov* [The results of the statistical analysis of regional hydrological and climate series]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii: elektronnyy zhurnal*, 2016. V.2. No 3, pp. 46–56. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2016/08/2016-N3-Naumov.pdf> (date accessed: 01.05.2017).
7. Sistema vodosnabzheniya MP KH «Vodokanal» [The water supply system of KH MP «Vodokanal»]. [Electronic resource]. URL: <http://vk39.ru/sistema-vodosnabjenii/> (date accessed: 01.05.2017).
8. *Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob'ektov* [Automated information system of state monitoring of water bodies]. [Electronic resource]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (date accessed: 01.05.2017).
9. *GIS-portal Tsentra registra i kadastra* [The GIS portal of the Central register or inventory]. [Electronic resource]. URL: <http://gis.waterinfo.ru/> (date accessed: 01.05.2017).
10. *Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob'ektov basseyna reki Neman i rek basseyna Baltijskogo morya (Rossiyskaya chast' v Kaliningradskoy oblasti). Utverzhdena prikazom Nevsko-Ladozhskogo BVU Federal'nogo agentstva vodnykh resursov ot 9 dekabrya 2014, № 171* [Scheme of complex use and protection of water bodies in the Neman river basin and rivers of Baltic sea basin (the Russian part of Kaliningrad region). Approved by order of Nevsko-Ladozhskoe BWO of the Federal water resources Agency of December 9, 2014, No. 171]. [Electronic resource]. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2/> (date accessed: 01.05.2017).
11. Naumov V.A. *Metody obrabotki gidrologicheskoy informatsii* [Methods of the hydrological information processing]. *Vestnik uchebno-metodicheskogo ob"edineniya po obrazovaniyu v oblasti prirodoobustroystva i vodopol'zovaniya*, 2015. Issue 7. Moscow: RGAU im. K.A. Timiryazeva Publ., pp. 144-150.
12. *Praktikum po gidrologii, gidrometrii i regulirovaniyu stoka: uchebnoe posobie* [Workshop on hydrology, hydrometry and flow regulation: textbook]. V.E. Ovcharov, N.N. Zakharovskaya, I.V. Proshlyakov et al. Moscow: Agropromizdat Publ., 1988. 224 p.
13. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Litovskaya SSR i Kaliningradskaya oblast' RSFSR. Pod red. V.E. Vodogretsky* [Surface water resources of the USSR. The Lithuanian SSR and Kaliningrad region of the RSFSR. Ed. by V.E. Vodogretsky]. V.4. Issue 3. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1969. 508 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Наумов Владимир Аркадьевич

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов и водопользования, действительный член Российской инженерной академии, действительный член Российской академии естественных наук,

E-mail: van-old@mail.ru



Naumov Vladimir Arkad'evich

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, Chairman of The Water Resources Department, Doctor of Technical Science, Professor, Member of Russian Engineering Academy, Member of Russian Academy of Natural Science,

E-mail: van-old@mail.ru

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с автором статьи:
236022, Россия, Калининград, Советский пр., 1, КГТУ, ГУК, каб. 372. Наумов В.А.
8(4012)99-53-37