

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ДРУЖНОСТИ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ВОДОСБОРОВ РЕК БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек¹, Т. Е. Зубрицкая², Д. А. Лямшев³

¹Д. г. н., профессор, декан факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

²Старший преподаватель УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

³Студент III-го курса факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

Реферат

В статье представлены результаты исследований параметра дружности половодья, определена степень влияния на него гидрологических и гидрографических параметров. Предложена зависимость для вычисления параметров K_0 , которые могут быть использованы при гидрологических расчетах на стадии предварительной оценки параметров мелиоративных систем и сооружений.

Ключевые слова: весеннее половодье, река-аналог, гидрологические параметры, коэффициент корреляции, многофакторные модели

ASSESSMENT OF THE K_0 PARAMETER OF BELARUS RIVER CATCHMENTS

A. A. Volchak, T. E. Zubritskaya, D. A. Lyamshev

Abstract

The article presents the results of research on the K_0 parameter and determines the degree of influence of hydrological and hydrographic parameters on it. A dependence is proposed for calculating the parameters of K_0 , which can be used for hydrological calculations at the stage of preliminary assessment of the parameters of reclamation systems and structures.

Keywords: spring flood, analog river, hydrological parameters, correlation factor, multi-factor models

Введение

Весеннее половодье является наиболее многоводной фазой водного режима рек Беларуси. Частые разливы рек весной приносят, в ряде случаев, большой ущерб и бедствия. Поэтому от оценки величины расхода воды весеннего половодья зависит правильность принятия решений. Расход воды весеннего половодья расчетной обеспеченности может быть определен гидрологическими методами, в зависимости от освещенности той или иной реки данными гидрометрических наблюдений [1, 2]. В Республике Беларусь насчитывается более 20 тыс. рек, а Государственное учреждение "Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды" ведет наблюдения за гидрологическим режимом рек и водоемов только на 114 постах (104 речных и 10 озерных). Посты располагаются по всей территории Беларуси на больших, средних и малых реках, имеющих научное и рекреационное значение [3]. Поэтому, чаще всего, приходится иметь дело с реками, по которым нет гидрометрических наблюдений, а подобрать реку-аналог достаточно сложно из-за редкой сети наблюдений.

Исследование интенсивности снеготаяния на водосборе необходимо для прогнозирования расходов воды в период весеннего половодья. Интенсивность таяния снега определяется рядом факторов (запас воды в снежном покрове, среднесуточные температуры воздуха, суммы осадков, рельефа водосбора), характеристиками подстилающей поверхности (высота, уклон склона, данные о залесенности). На малых водосборах большую роль может играть такой фактор, как неравномерность залегания снега, перенос его с открытых поверхностей одного водосбора на соседний залесенный.

Все эти факторы способны, в той или иной мере, повлиять на величину максимальных расходов воды в период весеннего половодья и на его продолжительность [4].

Согласно ТКП 45-3.04-168-2009 [5], расчетный максимальный расход воды весеннего половодья $Q_{P\%}$ (m^3/c), заданный ежегодной вероятностью превышения $P\%$, определяется по формуле

$$Q_P = \frac{K_0 \cdot h_P \cdot \mu \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2}{(A + 1)^{0.2}} \cdot A, \quad (1)$$

где K_0 – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья; h_P – расчетный слой суммарного весеннего стока, мм; ежегодной вероятностью превышения $P\%$; μ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды; δ – коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озер; δ_1 , δ_2 – коэффициенты, учитывающие снижение максимальных расходов воды, соответственно, в залесенных и заболоченных водосборах; A – площадь водосбора, km^2 .

Расчет максимальных расходов воды по формуле (1) проводится на основе метода аналогии путем подбора реки-аналога с наличием данных наблюдений по стоку в сравнительно схожих физико-географических условиях формирования весеннего половодья. Для реки-аналога, на которой ведутся наблюдения за водным режимом, из формулы (1) вычисляется численное значение параметра K_0 и переносится на искомую реку. При этом параметр K_0 приравнивается к соответствующей величине, определенной для реки-аналога. Однако подобрать реку-аналог едва ли всегда возможно.

При всей ясности и физической обоснованности формулы (1) параметр K_0 является достаточно приближенным и не имеет обоснованного физического смысла.

Целью настоящей работы является оценка влияния различных факторов на параметр, характеризующий дружность весеннего половодья, и представление его в виде простых моделей в зависимости от гидрографических параметров.

Исходные данные

Было отобрано 59 речных водосборов, для которых имелись данные по K_0 , площади водосбора, слоям стока, нормам стока и другим характеристикам (коэффициент вариации, длина водотока, уклон водосбора, озерности, болота, заболоченные земли, заболоченный лес, сухой лес, густота речной сети).

Исходные данные для определения K_0 предоставлены проектным институтом "Полесьегипроводхоз", и по ним была построена корреляционная матрица влияния факторов на параметр K_0 и их взаимного влияния (таблица 3).

Методами математической статистики [6, 7, 8] исследовано влияние различных факторов на параметр K_0 . Для этого выполнен корреляционный и регрессионный анализ с помощью программы "Statistics". Корреляционная матрица влияния гидрографических характеристик на параметр K_0 в таблице 1.

Анализ матрицы (таблица 1) позволил выявить факторы, существенно влияющие на параметр дружности половодья (K_0), из которых можно выделить слой стока подъяма половодья, слой стока весеннего половодья 1% обеспеченности, заболоченные земли, заболоченный лес. Исходя из анализа коэффициентов корреляции, нами построен ряд мультипликационных математических моделей типа:

$$K_0 = \sum_{i=1}^n A_i \cdot x_i + A_0, \quad (2)$$

где x_i – факторы влияющие на дружность половодья; A_i – коэффициенты регрессии.

Таблица 1 – Корреляционная матрица

	<i>H</i>	<i>A</i>	<i>h</i> ₁	<i>h</i> ₀	<i>C_v</i>	<i>L_{imax}</i>	<i>J_p</i>	<i>H_{cp}</i>	<i>A_{oz}</i>	<i>A_{bol}</i>	<i>A_{zab.zem}</i>	<i>A_{zab.les}</i>	<i>A_{suh.les}</i>
<i>K</i> ₀	0,58	0,10	0,43	0,26	0,25	-0,05	-0,10	0,25	-0,29	-0,25	0,40	-0,39	0,13
<i>H</i>		-0,31	0,80	0,64	0,28	-0,34	0,20	0,23	-0,62	-0,36	0,02	-0,25	0,32
<i>A</i>			-0,25	-0,06	-0,38	0,71	-0,47	0,33	0,26	0,15	-0,03	-0,15	-0,08
<i>h</i> ₁				0,85	0,25	-0,22	0,14	0,34	-0,65	-0,21	-0,01	-0,23	0,06
<i>h</i> ₀					-0,27	-0,10	-0,04	0,63	-0,69	-0,27	-0,18	-0,34	-0,06
<i>C_v</i>						-0,45	0,40	-0,56	0,06	0,07	0,28	0,35	0,22
<i>L_{imax}</i>							-0,63	0,32	0,41	0,13	-0,16	-0,26	-0,13
<i>J_p</i>								-0,22	-0,26	-0,44	0,03	0,49	-0,07
<i>H_{cp}</i>									-0,41	-0,17	-0,16	-0,56	-0,39
<i>A_{oz}</i>										0,44	0,14	0,19	-0,19
<i>A_{bol}</i>											0,10	-0,12	-0,21
<i>A_{zab.zem}</i>												-0,30	-0,15
<i>A_{zab.les}</i>													0,13

Примечание: *K*₀ – параметр, характеризующий дружность половодья; *H* – слой стока 1% обеспеченности подъема половодья, мм; *A* – площадь водосбора, км²; *h*₁ – слой стока весеннего половодья 1% обеспеченности, мм; *h*₀ – норма слоя стока весеннего половодья, мм; *C_v* – коэффициент вариации максимальных расходов воды весеннего половодья; *L_{imax}* – максимальная длина реки, км; *J_p* – уклон реки, ‰; *H_{cp}* – средняя высота водосбора, м; *A_{oz}* – заозеренность водосбора, ‰; *A_{bol}* – заболоченность водосбора, ‰; *A_{zab.zem}* – заболоченные земли на водосборе, ‰; *A_{zab.les}* – заболоченный лес на водосборе, ‰

Таблица 2 – Параметры моделей для определения *K*₀

Модель Факторы(<i>X_i</i>)	8-факторная			7-факторная			6-факторная		
	<i>A_i</i>	δA_i	<i>t</i>	<i>A_i</i>	δA_i	<i>t</i>	<i>A_i</i>	δA_i	<i>t</i>
<i>H</i>	0,0001	0,00003	2,1368	0,00005	0,00003	1,98430	--	--	--
<i>A</i>	0,0000	0,00000	1,0932	--	--	--	--	--	--
<i>h</i> ₁	0,0001	0,00003	1,73446	0,00006	0,00034	1,72723	0,00010	0,00003	3,33120
<i>h</i> ₀	-0,0002	0,00009	-2,2658	-0,0002	0,00009	-2,3724	-0,0002	0,00009	-2,5209
<i>J_p</i>	-0,0037	0,00215	-1,7112	-0,0045	0,00202	-2,2371	-0,0048	0,00217	-2,2058
<i>H_{cp}</i>	0,0001	0,00007	1,55113	0,00013	0,00006	2,02971	0,00013	0,00007	1,90295
<i>A_{bol}</i>	-0,0001	0,00008	-1,6799	-0,0002	0,00008	-1,7662	-0,0002	0,00008	-2,4575
<i>A_{zab.zem}</i>	0,0007	0,00029	2,2897	0,00067	0,0003	2,30204	0,00068	0,00031	2,18302
	<i>R</i> =0,84; <i>F</i> =4,84			<i>R</i> =0,83; <i>F</i> =5,30			<i>R</i> =0,78; <i>F</i> =4,75		

Модель, построенная с включением восьми факторов, имеет коэффициент корреляции *R*=0,84±0,05, при использовании семи параметров, коэффициент корреляции модели *R*=0,83±0,05. Параметры моделей приведены в таблице 2.

Использование 8 и 7-факторных моделей предусматривает установление трудноопределимого параметра слоя стока подъема весеннего половодья (*H*). Поэтому для практических целей можно рекомендовать 6-факторную модель.

При отсутствии слоя стока подъема весеннего половодья можно воспользоваться уравнением связи со слоем стока 1%-й обеспеченности, которая выражается следующим уравнением:

$$H = 0,0617 \cdot h_1^{1,3837} \quad (3)$$

Коэффициент корреляции *r*=0,82, графическая интерпретация данного уравнения представлена на рисунке 1.

Однако использовать эти факторы для определения *K*₀ не всегда возможно, поэтому в мелиоративной практике прибегают к другой расчетной зависимости определения максимальных мгновенных расходов воды заданной ежегодной вероятности превышения (*P*%) [5]:

$$Q_p = \frac{K'_0 \cdot h_p \cdot \mu \cdot \delta}{1000 \cdot (A + 1)^{0,20}} \cdot A, \quad (4)$$

где обозначение параметров *h_p*, μ , δ , *A* – те же, что и в формуле (1), а параметр *K*'₀, характеризующий дружность весеннего половодья в формуле (4) связан с параметром *K*₀ из формулы (1) следующей зависимостью:

$$K'_0 = \frac{K_0}{1000 \cdot \delta_1 \cdot \delta_2} \quad (5)$$

По результатам анализа корреляционной матрицы 3 отобраны факторы значимо влияющие на параметр *K*'₀, а именно – слой стока весеннего половодья 1%-й обеспеченности (*h*₁%), уклон водосбо-

ра (*J_e*), густота речной сети (ρ), высота водосбора (*H_{cp}*) и общая залесенность (*A_{лес}*). По этим факторам построена мультипликативная модель для определения параметра *K*'₀:

$$\ln K'_0 = -4,763 + 0,817 \cdot \ln h_{1\%} + 0,211 \cdot \ln J_e - 0,138 \cdot \ln \rho + 0,521 \cdot \ln H_{cp} - 0,109 \cdot \ln (A_{лес} + 1). \quad (6)$$

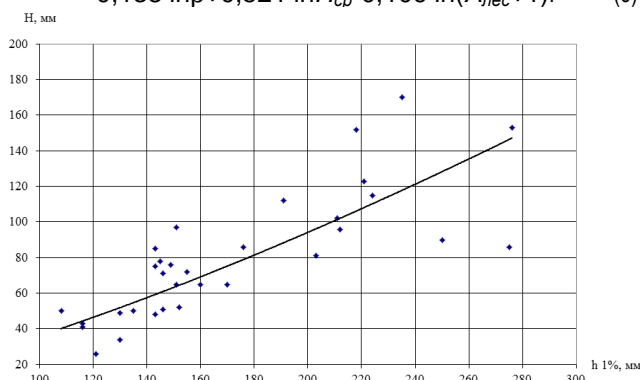


Рисунок 1 – Зависимость между слоем подъема половодья и однопроцентным слоем стока

Преобразовав уравнение (6) в удобный для пользования вид, получим:

$$K'_0 = \frac{h_{1\%}^{0,817} \cdot J_e^{0,211} \cdot H_{cp}^{0,521}}{117,10 \cdot \rho^{0,138} \cdot (A_{лес} + 1)^{0,109}} \quad (7)$$

На рисунке 2 представлен график связи рассчитанных параметров *K*'₀ по уравнению (7) и наблюдаемых значений.

Как видно из рисунка 2, большинство точек (около 67%) попадает в доверительный интервал.

Таблица 3 – Корреляционная матрица

	Q1, м³/с	h1, мм	Укл. вод., ‰	Болота, %	Заб.лес, %	Сух.лес, %	ρ, км/км²	Нср.вод., м	К ₀
A, км²	0,859	0,037	-0,576	0,054	0,336	0,122	-0,084	-0,103	-0,259
Q1, м³/с		0,430	-0,270	-0,110	0,095	-0,052	-0,262	0,134	0,246
h1, мм			0,172	-0,602	0,020	0,086	-0,328	0,262	0,501
Укл. вод.,‰				-0,096	-0,367	-0,204	-0,102	0,480	0,621
Болота,%					-0,340	-0,366	0,065	0,098	-0,109
Заб.лес,%						0,696	0,120	-0,217	-0,582
Сух.лес,%							0,112	-0,069	-0,472
ρ, км/км²								0,061	-0,299
Нср.вод.,м									0,457

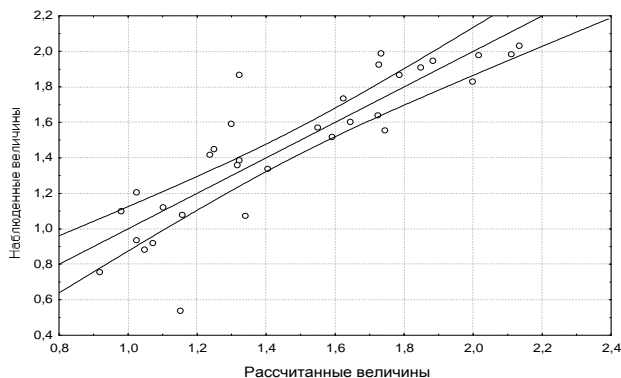


Рисунок 2 – График связи величин K_0 , рассчитанных по уравнению (6) и по данным гидрометрических наблюдений

Кроме того, построены зависимости K_0 от некоторых основных параметров и получены парные зависимости. Так, зависимость K_0 от слоя стока весеннего половодья, при $P=1\%$:

$$K_0 = 0,0267 \cdot h_{1\%}, \quad (8)$$

$(r=0,58 \pm 0,12)$.

Связь $K_0 = f(h_{1\%})$ хотя и значимая, но достаточно размытая.

Более существенная связь параметра K_0 с суммарной залесенностью водосбора. Причем здесь прослеживается обратная связь: чем больше лесистость водосбора, тем медленнее происходит таяние снежного покрова, и гидрограф половодья более распластан во времени с меньшим максимальным расходом, что соответствует природе данного процесса. Эта связь выражается зависимостью

$$K_0 = \frac{8,645}{(A_{лес} + 1)^{0,139}}, \quad (9)$$

$(r=-0,67 \pm 0,10)$.

Связь параметра K_0 с уклоном водосбора еще более значимая. Чем больше уклон, тем быстрее происходит сток воды по водосбору и тем самым максимальный расход весеннего половодья увеличивается, и эта связь описывается следующей зависимостью

$$K_0 = 5,90 \cdot J_0^{0,394}, \quad (10)$$

$(r=0,71 \pm 0,09)$.

Таким образом, полученное уравнение (10) может быть использовано для определения параметра K_0 , если подобрать реку-аналог не представляется возможным.

Заключение

В результате исследования выявлена степень влияния гидрографических и гидрологических параметров на коэффициент дружности весеннего половодья. Это позволило получить зависимости для определения параметра K_0 при невозможности подобрать реку-аналог, которые могут быть использованы при гидрологических расчетах на стадии предварительной оценки параметров мелиоративных систем и сооружений.

Список цитированных источников

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л. : Гидрометеоиздат. – Т. 5. – Ч.1. – 1966. – 718 с.

2. Бураков, Д. А. Основы метеорологии, климатологии и гидрологии / Д. А. Бураков. – Красноярск : Красн. гос. аграр. ун-т, 2011. – 278 с.
3. Гидрометеорологическая деятельность [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://belgidromet.by/ru/gidro-meteo-ru/> – Дата доступа : 30.03.2020.
4. Исследование характеристик максимального стока весеннего половодья / В. Е. Валуев [и др.] // Водные ресурсы и экология Беларуси : материалы VIII конференции. – Минск: ЦНИИКИВР, 2001. – С. 52–56.
5. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010.
6. Статистические методы в природопользовании / В. Е. Валуев [и др.]. – Брест : Брест. политехн. ин-т, 1999. – 252 с.
7. Gopchenko, E. D. Normalization of peak flow characteristics of spring floods on the rivers of the Black Sea Lowland / E. D. Gopchenko, M. E. Romanchuk – K. : KNT, 2005. – 148 p.
8. Gopchenko, E. D. The influence of the afforestation and swampiness on the design characteristics of the spring flood peak flow in the river Pripyat basin / E. D. Gopchenko, M. E. Romanchuk, M. P. Pogorelova // European science review. – 2015. – № 1–2. – P. 10–13.
9. Коэффициент дружности половодья рек Республики Беларусь / В. Н. Юхновец [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 11-й Международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2013. – Т. 2 – С. 124–125.
10. Картографическое представление коэффициента дружности половодья рек Республики Беларусь / В. Н. Юхновец [и др.] // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 13-й Международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2015. – Т. 2. – С. 115.

References

1. Surface water resources of the USSR. – L. : Hydrometeoisdat. – Vol. 5. – Part 1. – 1966. – 718 p.
2. Burakov, D. A. Basics of Meteorology, Climatology and Hydrology / D. A. Burakov. – Krasnoyarsk : Krasn. state. agrarian Un-t, 2011. – 278 p.
3. Hydrometeorological activity [Electronic resource]. – Access mode : <http://belgidromet.by/ru/gidro-meteo-ru/> – Access date : 30.03.2020.
4. Study of characteristics of maximum discharge of spring flooring / V. E. Valuyev [et al.] // Water resources and ecology of Belarus: materials of the VIII Conference. – Minsk : CNIICIVR, 2001. – P. 52–56.
5. Design hydrological characteristics. Procedure of determination: TAP 45-3.04-168-2009 (02250). – Minsk : Ministry of Construction Architecture of the Republic of Belarus, 2010.
6. Statistical methods in environmental management / V. E. Valuyev [et al.]. – Brest: Brest. polytechnical In-t, 1999. – 252 p.
7. Gopchenko, E. D. Normalization of peak flow characteristics of spring floods on the rivers of the Black Sea Lowland / E. D. Gopchenko, M. E. Romanchuk – K. : KNT, 2005. – 148 p.
8. Gopchenko, E. D. The influence of the afforestation and swampiness on the design characteristics of the spring flood peak flow in the river Pripyat basin / E. D. Gopchenko, M. E. Romanchuk, M. P. Pogorelova // European science review. – 2015. – № 1–2. – P. 10–13.
9. Friendship factor of the river floor of the Republic of Belarus / V. N. Yuhnovets [et al.] // Science – education, production, economy : materials of the 11th International Scientific and Technical Conference. – Minsk : BNTU, 2013. – Vol. 2 – P. 124–125.
10. Cartographic representation of the friendship ratio of the river floor of the Republic of Belarus / V. N. Yuhnovets [et al.] // Science – education, production, economics: materials of the 13th International Scientific and Technical Conference. – Minsk : BNTU, 2015. – Т. 2. – P. 115.

Материал поступил в редакцию 01.04.2020