

3. Климат Беларуси / Под ред. В.Ф.Логинова.— Минск: Институт геологических наук АН Беларуси, 1996. — 235 с.
4. Почвы Белорусской ССР. — Минск, 1974.
5. Швер, Ц.А. Применение метода последовательных изменений и интегрально-разностных кривых для вычисления норм осадков. — Труды ГГО, 1964, вып. 162. — С. 22-36.

УДК 556.166 "321" (476)

В.Е. Валуев, А.А. Волчек, В.В. Лукша, О.П. Мешик, В.Ю. Цилиндра

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Исследование стока малых рек в общем и экстремальных его значений в частности является актуальной проблемой для территории Беларуси, где малых рек более 20 тысяч. В условиях энергетического кризиса использование энергии малых рек потребует более углубленного исследования гидрологического режима гидрографической сети и водосборов.

Прогнозная оценка экстремальных значений стока малых рек Беларуси дает возможность предотвращения негативных явлений на сельскохозяйственных землях в поймах малых рек, возникающих в периоды весеннего половодья и летне-осенней межени.

Малая река, как объект природы, согласно ГОСТ 19179-73 [1] — это река, бассейн которой располагается в одной географической зоне, и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может отличаться от рек данной зоны. Однако в различных областях знаний и практической деятельности эту категорию рек определяют, обычно, по длине или площади водосбора, причем, не всегда равноценным. Эти различия в понятии малой реки связаны, прежде всего, с видом исследований и разными подходами к проблеме малых рек, с точки зрения современных наук. Исследование режимов стока малых рек Беларуси позволило авторам, руководствуясь нор-

мативными документами и литературными источниками, принять для разработки методики оценки максимального стока весеннего половодья следующее определение: малая река для исследуемой территории - это река, имеющая размер водосборной площади не более 2000 км² и протяженность не более 200 км.

Задачей настоящего исследования является построение физико-математических моделей зависимостей максимального стока весеннего половодья от определяющих его факторов. Необходимость разработки моделей назрела из-за отсутствия приемлемых региональных зависимостей для определения максимальных расходов весеннего половодья и несовершенства методики, рекомендованной (СНиП 2.01.14-83 "Определение расчетных гидрологических характеристик" [2]. Полученные зависимости являются возможным вариантом расчета максимального стока весеннего половодья в дополнение к предложенным авторами в Пособии П1-98 к СНиП 2.01.14-83 [3].

Построение физико-математических моделей максимального стока весеннего половодья осуществлено с использованием основных стокоформирующих параметров по 110 бассейнам малых рек Беларуси [4, 5, 6].

Полуэмпирическая физико-математическая модель максимального стока малых рек Беларуси имеет вид

$$\bar{Q}_{\max} = \frac{\bar{q}_{\max} \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \delta_3}{(A + 1)^{0,02}} \cdot A, \quad (1)$$

где \bar{q}_{\max} – единичный мгновенный максимальный расход весеннего половодья для элементарного водосбора, м³/с; определяется по картам изолиний или по зависимости

$$\bar{q}_{\max} = \frac{H_{\text{ср}}^{2,13} \cdot \lambda^{2,88}}{\varphi^{5,81}}, \quad (2)$$

где $H_{\text{ср}}$ – средняя высота водосбора в Балтийской системе координат, м; λ , φ – соответственно географическая долгота и широта центра тяжести водосбора, град.; δ – коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озер на максимальный сток; δ_1 – коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды в залесенных бассейнах; δ_2 – коэффициент, учиты-

вающий снижение максимального расхода воды в заболоченных бассейнах; δ_3 – коэффициент, учитывающий влияние среднего уклона реки на максимальный сток; A – площадь водосбора, км².

Коэффициенты уравнения (1) определяются по следующим формулам:

$$\delta = \frac{1}{(f_{\text{оз.}} + 1)^{n_1}}, \quad (3)$$

$$\delta_1 = \frac{1}{(f_{\text{с.л.}} + f_{\text{з.л.}} + 1)^{n_2}}, \quad (4)$$

$$\delta_2 = \frac{1}{(f_{\text{б.}} + 1)^{n_3}}, \quad (5)$$

$$\delta_3 = (1 + I_{\text{ср.р.}})^{n_4}, \quad (6)$$

в которых $f_{\text{оз.}}$ – озерность водосбора, %; $f_{\text{с.л.}}$ – площадь водосбора, занятая сухим лесом, %; $f_{\text{з.л.}}$ – площадь водосбора, занятая лесом на заболоченных землях, %; $f_{\text{б.}}$ – площадь водосбора, занятая болотами, %; $I_{\text{ср.р.}}$ – средний уклон реки, ‰; n_1, n_2, n_3, n_4 – коэффициенты, отражающие, соответственно, степень влияния озерности, залесенности, заболоченности водосбора, среднего уклона реки на максимальный сток весеннего половодья и изменяющиеся для исследуемой территории в пределах: $n_1 - 0,02 \dots 0,06$, ($n_{1\text{ср.}} = 0,04$); $n_2 - 0,07 \dots 0,11$, ($n_{2\text{ср.}} = 0,09$); $n_3 - 0,02 \dots 0,06$, ($n_{3\text{ср.}} = 0,04$); $n_4 - 0,25 \dots 0,54$, ($n_{4\text{ср.}} = 0,395$).

Теснота связи наблюдаемых и рассчитанных по уравнению (1) максимальных значений стока весеннего половодья достаточно высокая, коэффициент корреляции связи $R = 0,835 \pm 0,022$. Проверка модели осуществлялась по независимым материалам и показала, что в 15 % случаев ошибка, с которой рассчитываются нормы максимальных расходов воды рек весеннего половодья, не превышает ± 5 %, в 45 % случаев – ± 15 %, в 25 % случаев – ± 40 %, и ошибки более ± 40 % – составляют 15 % случаев.

Для двух генеральных совокупностей (наблюдаемых и рассчитанных значений) определен критерий Фишера (F), значение кото-

рого составило 2,17, что больше критического значения $F_{кр}=1,5$ при уровне значимости $\alpha=5\%$. Соответственно, предлагаемая физико-математическая модель позволяет рассчитывать с достаточной, для практических целей, точностью среднее многолетнее значение максимального стока весеннего половодья.

Зависимость максимальных расходов воды от таких параметров, как широта, долгота и средняя высота центра водосбора очевидна из-за географической зональности распределения основных гидролого-климатических показателей, поэтому, в формуле (1) единичный максимальный мгновенный расход весеннего половодья с элементарного бассейна (\bar{q}_{max}) является комплексным параметром, интегрирующим влияние основных стокоформирующих характеристик (атмосферных осадков, суммарного испарения, почвенного покрова, температуры воздуха и др.).

Величина максимального за период половодья расхода талых вод находится в прямой зависимости от общего направления уклона водосборной площади и среднего уклона реки. Чем больше средний уклон реки, тем выше расход весеннего половодья в данном створе (для территории Беларуси – $\delta_3=1,01\dots 3,36$).

Озера и болота оказывают регулирующее воздействие на режим стока рек – они способствуют снижению максимального стока и выполаживанию половодья. Снижение максимальных расходов в лесных бассейнах зависит от степени дренирования подземных вод. В лесу снег тает с меньшей интенсивностью и с некоторым запаздыванием по сравнению с полем. Талая вода задерживается на поверхности и затем большей частью фильтруется в почвогрунты, то есть лес способствует переводу поверхностного стока в подземный, за счет этого максимальные расходы весеннего половодья на водосборах малых рек понижаются при полном облесении водосбора до 5 и более раз (данные Важнова А.Н. [7]).

Максимальный сток половодья малых рек Беларуси заданной вероятности превышения ($Q_{max P\%}$) определяется по трем статистическим параметрам: среднемноголетнему максимальному стоку весеннего половодья (\bar{Q}_{max}), коэффициентам вариации (C_V) и асимметрии (C_S). Норму \bar{Q}_{max} предлагается рассчитывать по зависимости (1).

Нахождение C_V , C_S и соотношения C_S/C_V по имеющимся рядам наблюдений осуществляется с большими ошибками из-за недостаточной их длины – максимальная длина ряда из 110 исследуемых малых рек (створов) – 45 лет, средняя – 22 года. Поэтому, при оценке статистических параметров максимального стока весеннего половодья нами использовался метод годовпунктов, как наиболее полно учитывающий пространственно-временные изменения гидрологических характеристик исследуемого ряда. Суть метода годовпунктов состоит в построении эмпирической кривой обеспеченности по совокупности, полученной при объединении статистически однородных независимых временных рядов случайной величины X (в нашем случае максимальных расходов весеннего половодья) в m - пунктах наблюдений (створах) в один пространственно-временной ранжированный ряд $(X_{n_1}, X_{n_2}, \dots, X_{n_m})$

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_N \quad (N=n_1+n_2+\dots+n_m), \quad (7)$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ – исследуемая совокупность членов статистически однородных временных рядов, объединенных в единый пространственно-временной ранжированный ряд; $N = n_1+n_2+\dots+n_m$ – продолжительность периода наблюдений на соответствующих станциях (створах).

По объединенному ряду строится эмпирическая кривая обеспеченности и определяются оценки статистических параметров.

Совместное рассмотрение материалов наблюдений значительно увеличило объем информации, на которую опираются суждения о закономерностях колебаний максимального стока весеннего половодья: при таком рассмотрении вместо одного ряда данных, характеризующего гидрологический режим отдельно взятой малой реки, анализу подвергались результаты наблюдений на 2409 годовпунктах по 110 малым рекам Беларуси. Исследование проведено с учетом результатов районирования малых рек по принадлежности к бассейнам крупных рек и в целом для территории Беларуси (таблица 2).

При практическом применении метода годовпунктов важной является оценка однородности рассматриваемых выборок. Проверка однородности объединенных рядов осуществлена по критерию Колмогорова с использованием метода сравнения частных кривых обеспеченности с объединенной кривой. В данном случае, в качестве

ве заданного (теоретического) закона распределения вероятностей выступает кривая обеспеченности объединенного ряда, построенная без участия параметров, определенных по сравниваемой с ней выборке.

Таблица 2 Краткая характеристика исходных выборок при исследовании максимальных расходов воды весеннего половодья малых рек Беларуси

Бассейн реки	Число расчетных створов (рек)	Число годопунктов	Среднее количество лет наблюдений по одной реке (створу)
Западная Двина	22	470	21,4
Неман	24	484	20,2
Западный Буг	4	99	24,8
Днепр	60	1356	22,6
Вся территория Беларуси	110	2409	21,9

Суть оценки однородности с использованием критерия Колмогорова заключается в сравнении рассчитанного для максимального отклонения между эмпирической и теоретической кривой распределения уровня значимости α и критического его значения $\alpha_{кр.}$, которое для исследуемых выборок принято равным 5 %. Полученные уровни значимости для максимальных отклонений между эмпирической и теоретической кривой распределения вероятностей максимальных расходов весеннего половодья для исследуемых выборок приведены в таблице 3.

Анализ материалов таблицы 3 показывает, что все объединенные ряды имеют уровни значимости $\alpha > \alpha_{кр.} = 5 \%$, что свидетельствует об однородности выборок, и о возможности оценки коэффициентов вариации (C_V) и асимметрии (C_S) методом моментов (таблица 4):

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{(n-1)}}, \quad (9)$$

$$C_S = n \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3 / [(n-1)(n-2)C_V^3], \quad (10)$$

где K_i – модульные коэффициенты; n – длина исследованного ряда.

Таблица 3 Уровни значимости (α) исходных выборок при исследовании максимальных расходов весеннего половодья малых рек Беларуси

Бассейн реки	Уровень значимости (α), %
Западная Двина	12,6
Неман	8,6
Западный Буг	76,8
Днепр	28,1
Вся территория Беларуси	8,8

Таблица 4 Коэффициенты вариации (C_V) и асимметрии (C_S) для исследованных объединенных выборок и соотношение (C_S/C_V)

Бассейн реки	Количество членов ряда	C_V	C_S	C_S/C_V
1	2	3	4	5
Западная Двина	470	0,58	1,36	2,5 (2,35)
Неман	484	0,72	1,47	2,0 (2,03)
Западный Буг	99	0,63	0,79	1,0 (1,25)
Днепр	1356	0,68	1,23	2,0 (1,80)
Вся территория Беларуси	2409	0,67	1,30	2,0 (1,94)

Примечание: в графе 5 приведены округленные по ближайшим стандартным значениям соотношения C_S/C_V , в скобках - реальные значения.

Анализ материалов таблицы 4 показывает, что в целом для территории Беларуси коэффициент вариации максимальных расходов весеннего половодья изменяется в пределах от 0,58 до 0,72, коэф-

коэффициент асимметрии – от 0,79 до 1,47, а их соотношение от - 1,0 до 2,5. Это свидетельствует о больших различиях в гидролого-климатических условиях на водосборах малых рек Беларуси и необходимости вести расчеты максимальных расходов весеннего половодья с учетом их приуроченности к бассейнам крупных рек.

Определение коэффициентов вариации максимального стока весеннего половодья при отсутствии данных гидрометрических наблюдений на малых реках Беларуси, можно осуществлять по зависимости

$$C_v = \frac{a}{\bar{Q}_{\max}^{0,03} \cdot (A + 100)^{0,03} \cdot (f_{\text{оз.}} + 1)^{0,11}}, \quad (11)$$

где a – параметр, определяемый обратным путем по данным реки-аналога.

По найденным величинам – \bar{Q}_{\max} , C_v и C_s/C_v определяется расчетный максимальный расход воды весеннего половодья заданной вероятности превышения

$$Q_P = K_P \cdot \bar{Q}_{\max}, \quad (12)$$

где K_P – ордината кривой трехпараметрического гаммараспределения, определяемая по стандартным таблицам.

Сравнительная оценка рассчитанных по предлагаемой методике обеспеченных величин максимальных расходов весеннего половодья с рассчитанными по наблюдаемым значениям для ежегодных вероятностей превышения 5 % и 10 % приведена на рисунке 1.

Поверочные расчеты, выполненные с привлечением независимых исходных данных, показали, что рассчитанные по предлагаемой методике значения максимальных расходов весеннего половодья (как норм, так и обеспеченных величин) с достаточной для практических целей точностью соответствуют измеренным величинам.

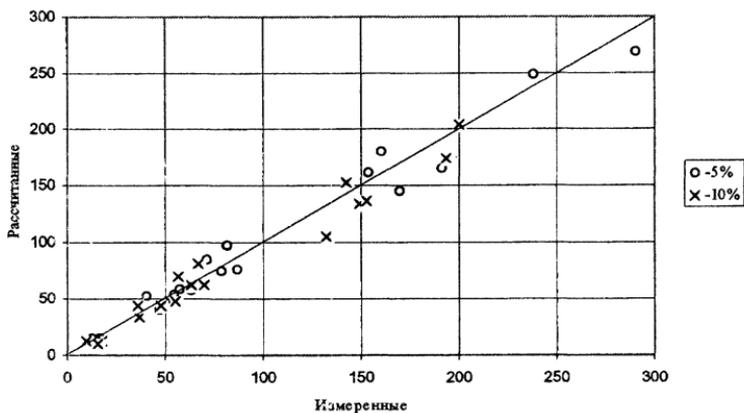


Рисунок 1 – Графики связи рассчитанных и измеренных величин максимального стока весеннего половодья вероятностью превышения 5% и 10% (м³/с)

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрология суши. Термины и определения: ГОСТ 19179–73. – Москва, 1973. – 34 с.
2. Определение расчетных гидрологических характеристик: СНиП 2.01.14–83. – Москва: Госстрой СССР: Стройиздат, 1985. – 36 с.
3. Определение расчетных гидрологических характеристик Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Пособие к строительным нормам и правилам: П1–98 к СНиП 2.01.14–83 / Н.В. Шевцов, Н.А. Мишустин, В.Е. Валуев, А.А. Волчек, В.В. Лукша, О.П. Мешик, В.Ю. Цилиндь // Введ. 01.08.1999. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2000. – 181 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1966. – Т. 5: Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Ч. 2: Основные гидрологические характеристики. – 720 с.
5. Основные гидрологические характеристики (за 1963-1970 гг. и весь период наблюдений). – Ленинград: Гидрометеоздат, 1974. – Т. 5: Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – 432 с.

6. Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 гг. и весь период наблюдений). – Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. – Т. 5: Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – 504 с.

7. Важнов, А.Н. Гидрология рек / А.Н. Важнов. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 329 с.

8. Исследование и расчеты речного стока / под ред. В.Д. Быкова. – Москва: Изд-во МГУ, 1981. – 228с.

УДК 556.162 "45" (476)

В.Е. Валуев, А.А. Волчек, О.П. Мешик, В.Ю. Цилиндя

ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА РЕК БЕЛАРУСИ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ

Определение основных параметров водохозяйственных объектов и систем осуществляется с учетом закономерностей внутригодичного хода стока рек по календарным периодам (месяцам или декадам), сезонам (весенний, летне-осенний, меженный и др.) и внутри их.

Распределение величин стока в году – сложная научно-практическая задача, связанная с оценкой влияния на сток комплекса физико-географических факторов. Наряду с климатическими факторами, на сток влияют площадь, рельеф, озерность, залесенность, заболоченность бассейна, местные гидрографические условия, что в итоге обуславливает естественную зарегулированность стока на водосборе. К этому необходимо добавить возможность трансформации стока в рассматриваемом бассейне в результате хозяйственной деятельности человека. Характер внутригодичного хода величин стока для одного и того же створа реки значительно изменяется в разрезе реальных лет. Расчетное внутригодичное распределение стока должно максимально точно отражать природные соотношения между составляющими величинами стока в отдельные периоды года, обеспечивать гарантированную безаварийную работу водохозяйственных сооружений и установок в критические периоды и сезоны.

При наличии данных наблюдений (≥ 15 лет) в практике гидрологических расчетов внутригодичные величины стока получают одним