

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ МОДУЛЕЙ СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Гидрографические характеристики водосборов малых рек Беларуси наиболее полно исследованы в 60-70 гг. XX века. В настоящее время практически отсутствуют источники, отражающие современную гидрологическую ситуацию. За последнее 50-летие в результате комплексной мелиорации земель значительно изменилась заболоченность водосборов, увеличилось количество водохранилищ. Нет современных и достоверных данных о многих гидрографических характеристиках, что делает затруднительным определение расчетных гидрологических характеристик для случая отсутствия данных гидрометрических наблюдений.

Данные гидрологических расчетов востребованы проектной мелиоративной практикой. В частности, для осушительных систем с площадью водосбора до 2,0 тыс. га одним из расчетных расходов воды является весеннее половодье обеспеченностью $P = 10\%$ [1]. При проектировании гидротехнических сооружений, в зависимости от их класса капитальности и расчетного случая (основной и поверочный), принимаемые обеспеченности расчетных расходов воды составляют $P = 0,01; 0,1; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0; 10 \%$. Существующая сеть гидрологического мониторинга в Республике Беларусь не в полном объеме обеспечивает потребности водохозяйственной отрасли, прежде всего проектирование мероприятий по реконструкции и строительству мелиоративных систем, расположенных на водосборах малых рек. В этой связи определение расчетных гидрологических характеристик осуществляется для случая отсутствия данных гидрометрических наблюдений.

Целью работы является исследование гидрографических характеристик водосборов малых рек Беларуси. При этом требуется выполнить расчеты модулей стока весеннего половодья обеспеченности $P = 10\%$, установить характеристики, изменчивость которых вносит наибольший вклад в величину расчетного модуля стока. Итогом работы является районирование по территории Беларуси модулей стока весеннего половодья принятой обеспеченности.

Объектом исследования являются гидрографические характеристики по водосборам 110 малых рек Беларуси, включая площадь водосбора, длину реки, уклон русла, озерность, заболоченность, залесенность, густоту речной сети, распаханность и др.

К настоящему времени разработано множество карт, отражающих параметры стока весеннего половодья. Районированы коэффициенты, входящие в расчетные аналитические зависимости. В то же время отсутствуют сами карты пространственного распределения по исследуемой территории модулей стока.

Расчет максимальных расходов воды производится на основе метода аналогии путем подбора водосбора с наличием данных наблюдений по стоку и сравнительно однообразных физико-географических условий формирования весеннего половодья.

Согласно [2, 3] расчетный максимальный расход воды весеннего половодья Q_P ($\text{м}^3/\text{с}$) заданной ежегодной вероятностью превышения $P \%$ определяется по формуле

$$Q_P = \frac{K_0 \cdot h_P \cdot \mu \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2}{(A + 1)^{0,20}} \cdot A, \quad (1)$$

где K_0 – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья; h_p – расчетный слой суммарного (с учетом грунтового питания) 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 максимального расхода воды, соответственно, в залесенных и заболоченных водосборах; A – площадь водосбора, км².

Расчеты производится в следующем порядке:

1) параметр, характеризующий дружность весеннего половодья K_0 определяется по рекам-аналогам. При отсутствии надежных аналогов можно использовать соответствующую карту [3];

2) расчетный слой стока (h_p) определяется по формуле

$$h_p = K_p \cdot h_0, \quad (2)$$

где h_0 – средний многолетний слой стока весеннего половодья (мм), определяемый по данным рек-аналогов или по картам изолиний [3]; C_v – коэффициент вариации слоя стока, определяемый по картам изолиний [3]; C_s/C_v – для рек бассейна Западной Двины принимается – $C_s = 2C_v$, для рек бассейна Немана и левобережных притоков Припяти – $C_s = 3C_v$, для рек бассейнов Днепра, Сожа, Березины, правобережных притоков Припяти – $C_s = 4C_v$; K_p – модульный коэффициент расчетной обеспеченности, определяемый по приложению [3] для трехпараметрического гамма-распределения в зависимости от C_v и C_s/C_v ;

3) коэффициент μ , учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды, определяется по таблице 1;

Таблица 1 – Значения коэффициента μ , учитывающего неравенство параметров слоя стока и максимальных расходов воды

Водосбор	Значения коэффициента μ при обеспеченности, в процентах, равной							
	1	2	3	5	10	25	50	75
Правобережные притоки р. Припяти	1,0	0,95	0,94	0,93	0,87	0,81	0,74	0,66
Остальные реки Беларуси	1,0	0,96	0,93	0,90	0,84	0,75	0,65	0,55

4) коэффициент δ , учитывающий снижение максимального стока рек, зарегулированных проточными озерами, определяется по формуле

$$\delta = \frac{1}{1 + c \cdot A_{оз}}, \quad (3)$$

где c – коэффициент, принимаемый в зависимости от среднего многолетнего слоя весеннего стока (h_0). При $h_0 \geq 100$ мм, $c = 0,2$; при $h_0 = 50$ мм, $c = 0,3$; при h_0 , изменяющемся от 100 до 50 мм, (c) получается интерполяцией; $A_{оз}$ – средневзвешенная озерность водосбора в процентах, определяется по картам;

5) коэффициент δ_1 , учитывающий снижение максимальных расходов воды в залесенных бассейнах, определяется по формуле

$$\delta_1 = \frac{\alpha_1}{(A_l + 1)^{0,22}}, \quad (4)$$

где α_1 – параметр, учитывающий расположение леса на водосборе принимается по таблице 2; A_l – залесенность водосбора, в процентах, [2];

Таблица 2 – Значения параметра α_1 в формуле (4)

Расположение леса на водосборе	Параметр α_1 при A_n , в процентах, равно		
	3-9	10-19	20-30
равномерное	1,0	1,0	1,0
в верхней части водосбора	0,85	0,80	0,75
в нижней и прирусловой части водосбора	1,20	1,25	1,30

б) коэффициент δ_2 , учитывающий снижение максимального расхода воды заболоченных водосборов, определяется по формуле

$$\delta_2 = 1 - \beta \cdot \lg(0,1 \cdot A_6 + 1), \quad (5)$$

где β – коэффициент, учитывающий тип болот и преобладающий механический состав почв (грунтов) вокруг болота и заболоченных земель; принимается по таблице 3; A_6 – заболоченность водосбора, в процентах [2];

Таблица 3 – Значение коэффициента β в формуле (5)

Типы болот и почвогрунтов на их водосборах	β
Низинные болота и заболоченные леса и луга на водосборах, сложенных супесчаными и легкосуглинистыми почвами (грунтами)	0,8
Болота разных типов на водосборе	0,7
Верховые болота на водосборах, сложенных супесчаными и легкосуглинистыми почвами (грунтами)	0,5
Верховые болота на водосборах, сложенных среднесуглинистыми и глинистыми почвами (грунтами)	0,3

7) в итоге, по формуле (1) вычисляется максимальный расход воды весеннего половодья расчетной обеспеченности

Выполненные расчеты модулей стока весеннего половодья обеспеченности $P = 10\%$ показали их значительную зависимость от гидрографических характеристик водосборов, а также параметров, входящих в уравнения (1) – (5). В частности, в таблице 4 приведены зависимости расчетных модулей стока от расположения леса на водосборе (параметр α_1).

Таблица 4 – Динамика модулей весеннего половодья обеспеченности $P = 10\%$ в зависимости от расположения леса на водосборе

При залесённости от 20 до 30%	Параметр α_1		
	1	0,75	1,3
Река-створ	Модуль стока, м ³ /с*км ²		
Оболь – с. Ломоносово, 395км ²	0,142	0,107	0,185
Полота – с. Янково 1-е, 618км ²	0,103	0,077	0,134
Молчадь – с. Гезгалы, 1120км ²	0,119	0,090	0,155
Нарочь – с. Нарочь, 1480км ²	0,020	0,015	0,026
Рыта – с. Малые Радваничи, 1600км ²	0,019	0,014	0,024
Случь – с. Новодворцы, 910км ²	0,089	0,067	0,116
Случь – пгт. Старобин, 1910км ²	0,087	0,065	0,113
Случь – с. Ленин, 4620км ²	0,065	0,049	0,084
При залесённости от 10 до 19%	Параметр α_1		
	1	0,8	1,25
Река-створ	Модуль стока, м ³ /с*км ²		
Маделка – с. Русаки, 462км ²	0,107	0,086	0,134
Молчадь – с. Молчадь, 211км ²	0,150	0,120	0,187

Как показывают данные таблицы 4, имеет место статистически значимое изменение модулей стока весеннего половодья практически по всем водосборам малых рек Беларуси. Учитывая комплексное освоение водосборов и возможное изменение их залесенности, требуется высокое качество гидрологических изысканий, проводимых в период непосредственно предшествующий разработке инженерных проектов. Использование данных прошлых лет (60-70 годов XX века) может привести к ошибочным результатам.

Антропогенная деятельность, связанная с мелиорацией водосборов, осушением заболоченных земель и болот привела к значительной их трансформации вплоть до изменения типизации (таблица 3). Так, после осушения не только уменьшается заболоченность водосбора, но и требуется корректировка численного значения коэффициента β , представленного в формуле (5). В таблице 5 приведена динамика модулей стока весеннего половодья в зависимости от различной типизации болот.

Таблица 5 – Динамика модулей весеннего половодья обеспеченности $P = 10\%$ в зависимости от типов болот и почвогрунтов на водосборе

	Коэффициент β			
	0,8	0,7	0,5	0,30
Река-створ	Модуль стока, $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$			
Оболь – с. Ломоносово, 395 км^2	0,142	0,148	0,161	0,173
Полота – с. Янково 1-е, 618 км^2	0,103	0,107	0,115	0,123
Маделка – с. Русаки, 462 км^2	0,107	0,112	0,120	0,129
Молчадь – с. Молчадь, 211 км^2	0,150	0,160	0,181	0,202
Молчадь – с. Гезгалы, 1120 км^2	0,119	0,124	0,132	0,141
Нарочь – с. Нарочь, 1480 км^2	0,020	0,021	0,022	0,023
Рыта – с. Малые Радваничи, 1600 км^2	0,019	0,021	0,026	0,030
Случь – с. Новодворцы, 910 км^2	0,089	0,093	0,102	0,110
Случь – пгт. Старобин, 1910 км^2	0,087	0,091	0,099	0,108
Случь – с. Ленин, 4620 км^2	0,065	0,068	0,076	0,083

Наибольшие разности расчетных модулей стока соответствуют водосборам с малыми площадями.

Расчеты модулей стока весеннего половодья обеспеченности $P = 10\%$, показали их значительную пространственную изменчивость. Наибольшие значения приходятся на северо-восток Беларуси, наименьшие – на юго-запад.

Таблица 6 – Модули стока весеннего половодья обеспеченности $P = 10\%$ по бассейнам рек Беларуси

Бассейн реки	$q_{10\%}^{en}$, $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$
Западная Двина	0,10-0,49
Днепр	0,04-0,51
Неман	0,02-0,17
Западный Буг	0,02-0,08

Основными динамическими характеристиками, определяющими модуль стока, являются: озерность, заболоченность, залесенность. Площадь водосбора также существенно влияет на величину модуля стока [4]. При уменьшении площадей модули стока уменьшаются.

Как уже отмечалось, крупномасштабные мелиоративные мероприятия привели не только к существенному снижению площади заболоченности водосборов рек, но и к уве-

личению озерности за счет строительства большого количества прудов и водохранилищ. По некоторым водотокам изменились площади их водосборов. В различных литературных источниках отмечается рост лесистости территории Беларуси во второй половине XX века (около 7-8%) [5]. Проследить динамику изменения расходов воды весеннего половодья в зависимости различных сценариев изменения озерности, заболоченности, залесенности можно на примере отдельных водосборов.

Таблица 7 – Динамика модулей стока весеннего половодья обеспеченности $P = 10\%$ в р. Оболь – с. Ломоносово в зависимости от различных сценариев изменения гидрографических характеристик водосбора

Изменяющиеся гидрографические характеристики		Численные показатели изменений гидрографических характеристик водосборов и соответствующих им модулей стока										
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Озерность, %	↑	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Залесенность, %	↑	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Заболоченность, %	↑	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Модуль стока, м ³ /с*км ²		0,142	0,126	0,112	0,100	0,091	0,083	0,075	0,069	0,064	0,059	0,055
Озерность, %	↑	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Залесенность, %	↑	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Заболоченность, %	↓	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Модуль стока, м ³ /с*км ²		0,142	0,131	0,122	0,115	0,109	0,103	0,099	0,095	0,092	0,089	0,087
Озерность, %	=	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Залесенность, %	↓	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20
Заболоченность, %	↓	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Модуль стока, м ³ /с*км ²		0,142	0,146	0,151	0,156	0,161	0,167	0,172	0,179	0,186	0,193	0,202
Озерность, %	=	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Залесенность, %	↓	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20
Заболоченность, %	↑	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Модуль стока, м ³ /с*км ²		0,142	0,140	0,138	0,136	0,135	0,133	0,131	0,130	0,129	0,128	0,127
Озерность, %	=	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Залесенность, %	↑	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Заболоченность, %	↓	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Модуль стока, м ³ /с*км ²		0,142	0,144	0,147	0,149	0,152	0,155	0,158	0,162	0,165	0,170	0,174

Для большинства вероятных сценариев изменения гидрографических характеристик водосбора имеет место снижение расчетных модулей стока (таблица 7). Причем для наиболее вероятного ретроспективного сценария (увеличение озерности и залесенности, снижение заболоченности – в таблице 7 выделены фоном) изменение характеристик в пределах 3-4% приводит к значительному уменьшению расходов воды и, соответственно, модулей стока, что фактически уже произошло.

На рисунках 1 и 2 приведено районирование модулей стока весеннего половодья ($P = 10\%$) на территории Беларуси. Рисунок 1 обобщает данные по 110 водосборам малых рек с различными их площадями. Учитывая зависимости модулей стока от площадей водосбора, на рисунке 2 приведена карта для рек с площадями $A < 500$ км², так как в мелиоративной практике в большинстве случаев ведутся расчеты именно по данным водосборам.

В заключение необходимо отметить, что по большинству водосборов малах рек Беларуси установлена значительная изменчивость модулей стока весеннего половодья в зависимости от трансформации площадей болот, лесов и озер (водохранилищ). Рассмотрены 5 возможных сценариев изменения гидрографических характеристик, для

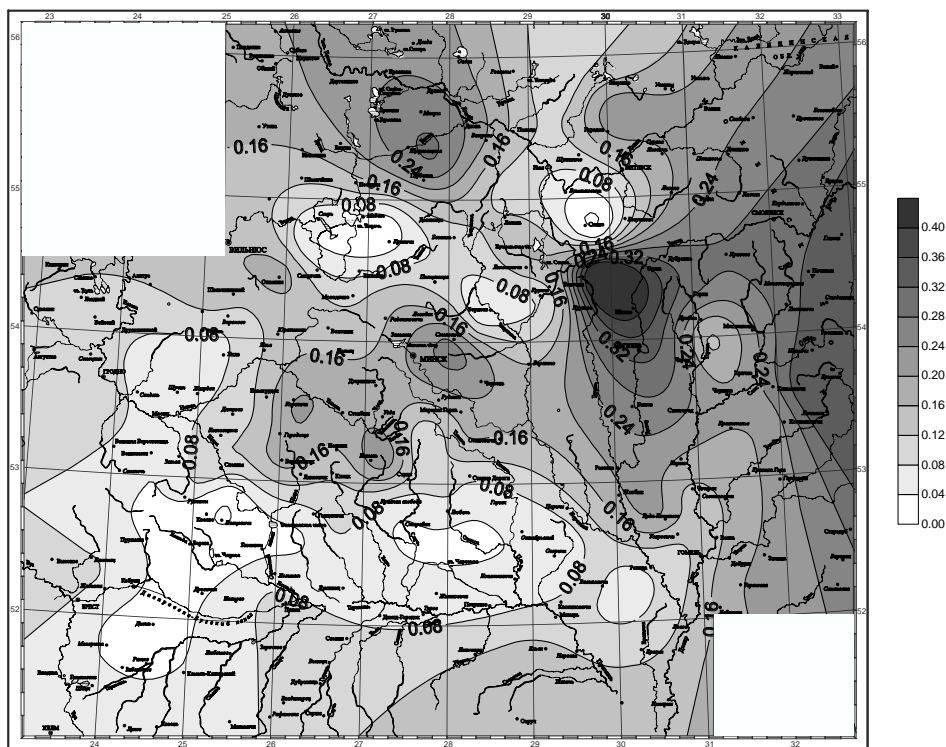


Рисунок 1 – Районирование модулей стока весеннего половодья ($P = 10\%$) по водосборам малых рек Беларуси, $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{км}^2$

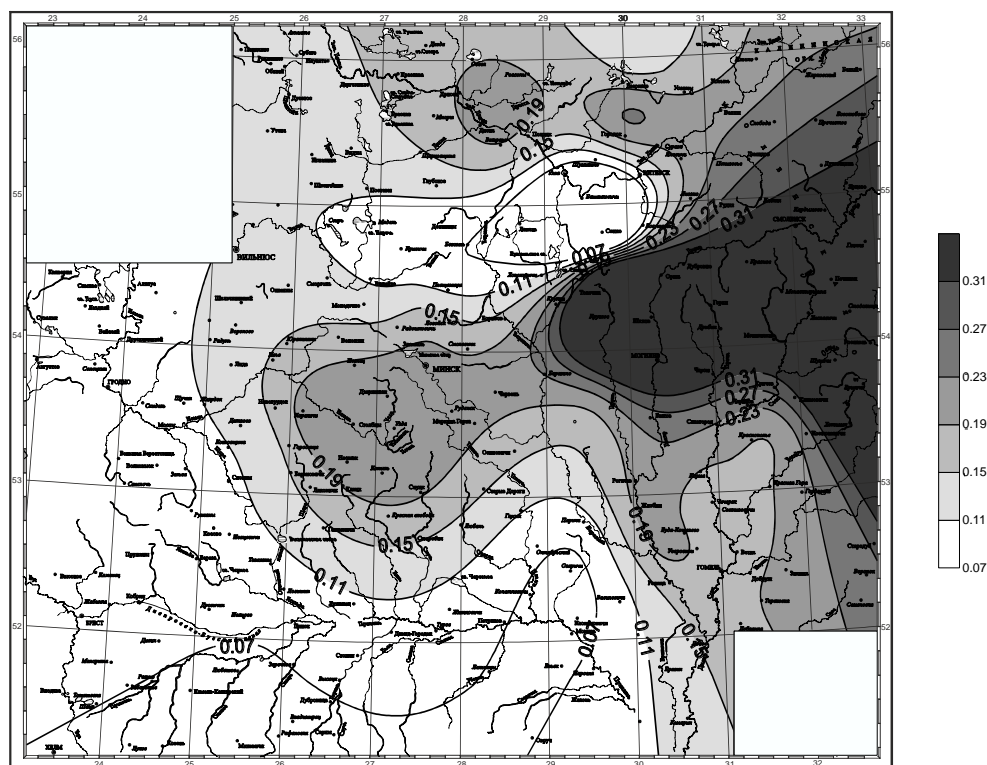


Рисунок 2 – Районирование модулей стока весеннего половодья ($P = 10\%$) по водосборам малых рек Беларуси ($A < 500 \text{ км}^2$), $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{км}^2$

большинства из которых имеет место снижение расходов воды. Наиболее вероятным ретроспективным сценарием рассматривается увеличение озерности и залесенности, снижение заболоченности. Изменение данных характеристик в пределах 2-4% приводит к адекватному уменьшению стока в пределах 20-30%. Расчетные модули стока весен-

него половодья не имеют четкой дифференциации, как по бассейнам рек, так и по гидрологическим районам. Ввиду существенного влияния площадей водосборов на величины модулей стока, установлена целесообразность выполнения районирования по площадям водосборов: до 500 км², 500-1000 км², более 1000 км². Построены соответствующие карты пространственного распределения модулей стока. Карты районирования модулей стока могут использоваться на предпроектной стадии для контроля качества выполненных гидрологических расчетов, для предварительной оценки параметров мелиоративных систем и сооружений. Результаты исследований могут использоваться в учебном процессе при подготовке инженеров по специальности «Мелиорация и водное хозяйство».

Список цитированных источников

1. Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования: ТКП 45-3.04-8-2005 (02250). – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2006.
2. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения: ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010.
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 // Введ. 01.08.1999. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2000.
4. Мешик, О.П. Проблемы гидрологических расчетов и использования их результатов в мелиоративной практике / О.П. Мешик, Т.Е. Зубрицкая, Ю.О. Снитко // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: науч. статьи Межд. науч.-практ. конф., Брест 23-25 апр. 2014 г.: под ред. А.А. Волчека [и др.]. – Брест, 2014. – Ч. 3. – С. 191–195.
5. Природная среда Беларуси / Национальная академия наук Беларуси, Институт проблем использования природных ресурсов и экологии; под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: НОООО «БИП-С», 2002. – 424 с.

УДК 620.9

Стаховец Д.Н., Палазнак А.А.

Научный руководитель: ст. преподаватель Янчилин П.Ф.

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Исследования белорусских ветров по скоростям ветра и времени их работы в году, проводившиеся при анализе ветровой обстановки в Беларуси и других континентальных регионах мира, показали, что ветер в Беларуси есть на всей территории на высоте 10 м от поверхности земли со скоростью 2,8-4,7 м/с в зависимости от районов. Например, при среднегодовой скорости ветра 3,5 м/с суммарное время работы в году ветров со скоростями 1-25 м/с составляет 95% от годового времени, или 8300 часов. При этом штилевая зона, соответствующая скоростям ветра менее 1 м/с или полному его отсутствию, составляет только 5% от годового времени, или 466 часов.

Ветер является одним из основных имеющихся в стране ресурсов для возможного реального использования на всей территории республики при замещении импортируемого органического топлива на длительную перспективу. Поэтому развитие ветроэнергетики в Беларуси является давно назревшей необходимостью для осуществления ускоренного замещения постоянно дорожающего импортируемого органического топлива.

Белорусская энергосистема должна обеспечить необходимые для динамичного развития экономики страны потребности в энергоресурсах в настоящее время и на дли-