

## ВЕСЕННИЙ МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК

К. Т. ХОММИК.

кандидат технических наук

Гидротехнические сооружения на водотоках, такие, как плотины, мосты, трубы, береговые дамбы и т. п., должны быть рассчитаны на пропуск максимальных расходов. Поэтому знание размера максимального стока имеет большое практическое значение.

Далеко не на всех реках производятся наблюдения за стоком, и в отношении большинства малых водотоков гидрометрические данные отсутствуют. Известно, что размеры максимальных расходов зависят кроме климатических условий от целого ряда других факторов, таких, как размеры площади водосбора, характер ее растительного покрова, водопроницаемость почво-грунтов, рельеф и т. п. При расчете максимального стока следует считаться с влиянием всех этих факторов.

Для расчета максимального стока в практике применяется ряд формул, предложенных различными авторами. Все эти формулы имеют свои недостатки, а применение их ограничено районами, для которых они разработаны.

Особенно большие неточности допускаются при вычислении максимального стока с водосборов малых рек, так как условия стока с этих водосборов еще слабо изучены.

В Эстонской ССР, где значительная часть территории занята болотами и заболоченными минеральными землями, подлежащими в ближайшее время осушению, при вычислении максимального стока следует считаться также и с влиянием, оказываемым осушением на режим речного стока.

В 1938 году автором была опубликована следующая формула для вычисления размеров весеннего максимального стока <sup>(1)</sup>:

$$q_{\max P\%} = \frac{100 \bar{q}}{F^{0,144} 10^{1,40(k_{95\%} + r)} P^{0,286}}, \quad (1)$$

где  $q_{\max P\%}$  — модуль весеннего максимального стока с обеспеченностью  $P\%$  в л/сек. км<sup>2</sup>;

$\bar{q}$  — модуль среднего многолетнего стока в л/сек. км<sup>2</sup>;

$F$  — площадь водосбора в км<sup>2</sup>;

$k_{95\%}$  — модульный коэффициент среднесуточного стока с обеспеченностью в 95% (при отсутствии данных наблюдений определяется по картограмме среднего минимального стока) <sup>(2)</sup>;

$r$  — поправка, которая зависит от характера растительного покрова, рельефа водосбора и других факторов, не учитываемых формулой <sup>(1)</sup>.

Формулу (1) можно переписать и в следующем виде:

$$q_{\text{вес. макс } P\%} = a \alpha \delta \varphi \varrho, \quad (1a)$$

где  $q_{\text{вес. макс } P\%}$  — модуль максимального стока с обеспеченностью  $P\%$  в л/сек. км<sup>2</sup>;

$a$  — климатический коэффициент, который в условиях ЭССР равен  $100 \bar{q}$ ;

$\bar{q}$  — модуль среднего многолетнего годового стока в л/сек. км<sup>2</sup>;

$\alpha$  — коэффициент, учитывающий влияние водопроницаемости почвогрунтов и озерности водосбора;

$$\alpha = 10^{-1,4k_{95\%}};$$

$k_{95\%}$  — модульный коэффициент среднесуточного (среднего минимального) стока с обеспеченностью в 95%;

$\delta$  — коэффициент, учитывающий влияние заболоченности и лесистости водосбора;

$$\delta = 10^{-1,4r}; \quad r = f(A, B);$$

$A$  — процент заболоченных земель в водосборе;

$B$  — лесистость водосбора в процентах;

$\varphi$  — коэффициент неодновременности добегания стока;

$$\varphi = F^{-0,144}$$

$\varrho$  — коэффициент, учитывающий обеспеченность максимального стока;

$$\varrho = P^{-0,286}$$

$P$  — обеспеченность максимального стока в процентах.

В дальнейшем при изучении условий весеннего максимального стока в водосборах ЭССР используется формула (1a).

На основании материалов наблюдений за максимальным стоком, произведенных за последние годы и собранных Гидрометслужбой ЭССР, установлено, что приведенную выше формулу (1a) необходимо исправить и найти выражение для коэффициента  $\delta$  или  $r$  ( $\delta = 10^{-1,4r}$ ), учитывающее влияние заболоченности и лесистости водосбора.

В гидрометрических створах, где имеется многолетний ряд наблюдений, можно определить обеспеченность максимумов разных размеров. Зная максимальный сток и его обеспеченность, коэффициенты  $a$ ,  $\alpha$ ,  $\varphi$  и  $\varrho$ , можно определить коэффициент  $\delta$  или  $r$ , как единственное неизвестное в формуле (1a).

Расчеты показали, что средние значения  $r_{\text{ср}}$  для всех водосборов оказались следующими:

при обеспеченности максимального стока от

50 до 35%  $r_{\text{ср}} = +0,08$  и  $+0,06$

при обеспеченности максимального стока от

10 до 5%  $r_{\text{ср}} = -0,02$  и  $-0,01$

при обеспеченности максимального стока около

2%  $r_{\text{ср}} = +0,02$ .

Эти данные показывают, что в формуле (1a) обеспеченность максимального стока учитывается коэффициентом  $\varrho = P^{-0,286}$  неточно, так как значения  $r_{\text{ср}}$  при любой обеспеченности стока должны получаться приблизительно равными. Если считать, что максимальный сток с обеспечен-



ностью от 2 до 10% определяется по формуле (1), в среднем, с удовлетворительной точностью ( $r_{ер} \approx 0$ ), то при обеспеченности стока от 35 до 50% размер вычисленного стока является заниженным по сравнению с фактическим ( $r_{ер} \approx +0,07$ ).

Для получения большей точности, путем графической корреляции, для максимального стока с обеспеченностью от 1 до 10% был найден отдельно коэффициент  $\varrho = P^{-0,22}$ , а для максимального стока с обеспеченностью от 10 до 50% — коэффициент  $\varrho = P^{-0,52}$ , где  $P$  — процент обеспеченности.

При обеспеченности стока от 10 до 50% пришлось в формуле (1а) кроме коэффициента  $\varrho$  изменить также коэффициент  $a$ , который в этом случае равен  $200 \bar{q}$ .

Следует отметить, что при обеспеченности максимального стока от 1 до 10% коэффициент  $a$  является показателем максимальной интенсивности водоотдачи от снеготаяния в водосборе. Так как с приближением площади водосбора к единице коэффициент  $\varphi = 1,0$ , при  $P = 1\%$ ,  $\varrho = 1,0$  и если  $a\delta = 1,0$ , то максимальный сток по формуле (1а) равен коэффициенту  $a$ . Это и является интенсивностью водоотдачи при обеспеченности в 1%.

С изменением коэффициента  $\varrho$  в диапазоне весеннего максимального стока от 10 до 50% увеличенный коэффициент  $a$  теряет свое физическое значение, но расходы в этом случае вычисляются точнее.

Для всех водосборов среднее значение  $r_{ер}$ , вычисленное по формуле (1а), с исправленными коэффициентами  $\varrho$  и  $a$ , при различной обеспеченности максимального стока является уже почти постоянным числом.

Амплитуда колебаний и среднеквадратичное отклонение коэффициента  $r$ , в пределах одного водосбора, при различной обеспеченности максимального стока также меньше при вычислении с исправленными коэффициентами  $\varrho$  и  $a$ . Если среднее квадратичное отклонение для  $r$  ( $\sigma_r$ ), вычисленное по неисправленной формуле, в среднем для всех водосборов равно 0,05, то по исправленным коэффициентам  $\sigma_r = 0,03$ .

Так как коэффициент  $r$  был вычислен по разности между наблюдавшимся и вычисленным стоком, среднее квадратичное отклонение для  $r$  является показателем всех конструктивных недостатков формулы (1). Размер среднего квадратного отклонения величины  $r$   $\sigma_r = 0,03$  показывает, что коэффициент  $\delta$  определяется со средней квадратной ошибкой  $\sigma_\delta = 10^{\pm 1,4\sigma_r} = 10^{\pm 1,4 \cdot 0,03} = 0,91 \dots 1,10$ . Отсюда следует, что в формуле (1а) максимального стока с исправленными коэффициентами, вследствие влияния неучтенных факторов и конструктивных дефектов самой формулы, могут наблюдаться ошибки в среднем порядка 10%.

Для определения размера коэффициента  $r$ , кроме данных гидрометрических постов с многолетним рядом наблюдений, использованы также материалы измерений максимальных расходов во время весеннего паводка 1951 года.

Весной 1951 года на реках ЭССР наблюдалось довольно мощное половодье, и Гидрометслужбой ЭССР был собран большой материал непосредственных измерений максимальных расходов. Измерения расходов в период половодья производились не только на постоянных гидрометрических пунктах, но и на мелких ручьях и магистральных каналах осушительных систем.

По этим материалам можно проследить влияние различных особенностей водосборов на режим максимального стока. Измерениями стремились охватить и реки с заболоченными водосборами, имеющими и неимеющими



ми на своей территории осушительные системы. На основании произведенных исследований дается предварительная оценка влияния осушения на размер максимального стока.

Весна 1951 года характерна сжатым сроком и высокой интенсивностью снеготаяния. Положительные температуры начали наблюдаться с 1—2 апреля, а максимальные расходы в период половодья в необлесенных и незаболоченных водосборах начали формироваться с 8—9 апреля, т. е. через 7—8 дней с момента начала снеготаяния.

Размер весеннего максимального стока, как известно, зависит от климатических факторов (осадки, изменение температуры воздуха в период снеготаяния и т. п.) и от физико-географических условий водосборных площадей.

Следует отметить, что в 1951 году в период снеготаяния колебания температуры воздуха по всей территории ЭССР были более или менее одинаковыми. В реках южной Эстонии (р. Выханду, Вяйке-Эмайыги и Эльва), максимум стока наблюдался на 1—2 дня раньше (8—9 апреля), чем в реках северной части республики. Так как снеготаяние в южных водосборах началось также раньше, то в интенсивности снеготаяния по всей территории ЭССР, повидимому, не было существенного различия.

Запас воды в виде снега перед началом снеготаяния составлял в среднем по всей территории ЭССР около 120 мм, т. е. приблизительно на 20—30 мм больше, чем в средний по климатическим условиям год. Как показывают данные снегосъемок, на защищенных участках снеговой покров в этом году был довольно равномерным. Запас воды не менее 100 мм наблюдался только в двух пунктах: на севере, на побережье моря (Хирвли 92 мм) и на юге в водосборе реки Вяйке-Эмайыги (Тыллесте 95 мм). Максимальный запас воды, более 140 мм, был измерен около северного и северо-западного побережья Чудского озера (Тийрикоя 159 мм, Туду 159 мм и Васькарна 146 мм). В одном пункте юго-западной Эстонии, около границы с Латвийской ССР, где также был определен запас воды в снеговом покрове, он составил более 140 мм (Ярья 147 мм).

Максимальный запас воды в снеговых осадках во всех остальных 30-ти пунктах снегомерных съемок колебался в пределах от 106 до 139 мм и составлял на большей части территории 110—130 мм.

Для сравнения влияния климатических факторов на режим максимального стока в различных водосборах использованы также материалы многолетних гидрометрических наблюдений. В таблице 1 приведены данные о максимальном стоке по 10 водосборам, где велись длительные наблюдения и известна обеспеченность максимального стока.

Таблица 1

Весенний максимальный сток в единицах от среднего годового стока

Наименование водосбора и створа	Весенний максимальный сток		Расхож- дение в %
	с обеспе- ченностью 10%	наблюден- ные в 1951 г.	
Пуртсе—Люганузе	18,1	15,4	—15
Пирита—Лагеди	17,6	16,6	— 6
Лейвайыги—Паюба	19,5	21,1	+ 8
Кейла—Кейла	13,6	11,4	—16
Вазалемма—Урба	15,8	18,6	+18
Вихтерпалу—Энглема	12,5	16,5	+32
Пярну—Орекюла	16,9	14,3	—15
Суур-Эмайыги—Тарту	5,4	5,1	— 6
Вяйке-Эмайыги—Тыллесте	15,6	17,2	+10
Выханду—Химмисте	7,5	5,0	—33



Из таблицы 1 видно, что максимальный сток 1951 года имел обеспеченность около 10%. Исключением являются только реки Выханду и Вихтерпалу.

В водосборе реки Вихтерпалу максимум был значительно больше, чем при обеспеченности в 10%. Однако размер максимального стока с обеспеченностью в 10%, вычисленный по данным многолетних наблюдений в этом же водосборе, по сравнению с другими аналогичными водосборами необычно мал, и поэтому правильность этой величины вызывает сомнение.

В водосборе реки Выханду максимальный сток 1951 года был, наоборот, значительно меньше, чем при обеспеченности в 10%. Здесь весной 1951 года наблюдался двухвершинный паводок.

Как указано выше, условия снеготаяния при формировании в 1951 году на территории ЭССР весеннего паводка были довольно однородными. Таким образом, расхождения в размерах модулей максимального стока 1951 года в различных водосборах были обусловлены, главным образом, влиянием физико-географических характеристик водосборов.

В южной части ЭССР и на побережье моря выпадает меньше осадков, чем на средней возвышенной части республики. Такое же распределение запасов воды в снеговом покрове наблюдалось весной 1951 года. Вследствие этого размеры среднего годового и максимального стока в водосборах южной Эстонии и около побережья моря меньше, чем в центральной части.

С целью устранения из расчета ошибок, обусловленных специфическим характером распределения осадков рассматриваемого района, и для предотвращения ошибок от неточности определения площади водосборов, максимальные расходы, измеренные в 1951 году, выражены в единицах от среднего многолетнего стока.

За единицу измерения при вычислении максимального стока был принят средний многолетний (с 1925 по 1949 гг.) сток данного гидрологического створа. В створах, где многолетние наблюдения не велись, найдены коэффициенты для приведения среднего годового стока 1951 года к многолетнему периоду. В таблице 2 приведены отношения среднего многолетнего стока к среднему стоку 1951 года.

Таблица 2

Отношение модулей многолетнего среднего стока к среднему 4-летнему стоку и к среднему стоку 1951 года в л/сек. км<sup>2</sup>

Наименования водосбора и створа	Площадь водосбора в км <sup>2</sup>	Модуль среднего годового стока в л/сек. км <sup>2</sup>			Отношение		
		1951 г.	с 1948 по 1951 год	с 1925 по 1949 год	1925—1949	1925—1949	
					1948—1951	1951	
Пуртсе—Люганузе	792	5,4	8,7	8,1	0,93	1,50	Среднее 1,41
Пирита—Нехату	709	6,6	—	9,6	—	1,46	
Лейвайги—Паюба	84,3	7,1	8,6	8,9	1,04	1,25	
Кейла—Кейла	668	6,7	9,3	9,2	0,99	1,36	
Вазалемма—Урба	383	7,9	10,0	11,2	1,12	1,42	
Вихтерпалу —							Среднее 1,30
Энглема	468	6,3	8,9	9,4	1,06	1,49	
Пярну—Орекюла	5180	7,1	9,2	9,3	1,01	1,31	
Педья—Тырве	792	5,9	7,2	7,7	1,07	1,30	
Вяйке—Эмайги —							
Тыллесте	1068	6,3	7,2	7,9	1,10	1,25	
Выханду—Химмисте	853	6,1	6,5	8,1	1,25	1,33	



Данные таблицы 2 показывают, что эти отношения по различным водосборам изменяются в довольно узких пределах от 1,25 до 1,50, что позволяет по среднему годовому стоку 1951 года найти средний многолетний сток.

В таблице 2 показаны также отношения среднего многолетнего стока к среднему стоку за четыре года. Установлено, что данные за четырехлетний период и за 1951 год можно с удовлетворительной точностью использовать для определения многолетнего среднего стока.

При приводке среднего стока 1951 года к среднему многолетнему стоку для бассейна Финского залива был принят коэффициент, равный 1,40, для бассейнов Рижского залива и Чудского озера — 1,30.

В водосборах, где имелись средние данные за 4 года (1948—1951), переводный коэффициент был принят по данным таблицы 2. Для каждого из водосборов, где отсутствовали многолетние наблюдения, был принят свой коэффициент, аналогичный коэффициентам соответствующих водосборов, приведенных в таблице 2.

Средний многолетний (1925—1949) годовой сток определяется как среднее арифметическое результатов приводки, полученных на основании приводки однолетних (1951) и четырехлетних (1948—1951) данных.

В тех случаях, когда отсутствовали данные и за 1951 год, средний многолетний сток был определен по карте климатического стока (<sup>2</sup>). К климатическому стоку было прибавлено изменение среднего годового стока в зависимости от заболоченности и водопроницаемости почв водосбора, определяемое по формуле:

$$\Delta y = 0,80 c + 15,7 q_{95\%} - 51,4,$$

где  $\Delta y$  — изменение суммарного годового слоя стока в мм;

$c$  — процент болот и заболоченных минеральных земель с лесокустарниковым покровом;

$q_{95\%}$  — модуль среднесуточного стока с обеспеченностью в 95% (ордината 95% обеспеченности обобщенной кривой обеспеченности стока в л/сек. км<sup>2</sup>).

Зная обеспеченность максимального стока 1951 года (равную примерно 10%), можно вычислить коэффициент  $r$ , как единственное неизвестное в формуле (1а).

До определения коэффициента  $r$  следует уточнить также коэффициент неодновременности максимального стока  $\varphi$ , зависящий от размера площади водосбора.

Для определения коэффициента  $\varphi$  мы пользовались выражением  $\varphi = F^{-0.144}$ , где  $F$  — площадь водосбора. При выведении этого выражения были использованы гидрометрические данные, главным образом, для водосборов с площадью более 100 км<sup>2</sup>. Проверка формулы (1а) и уравнения для определения коэффициента  $\varphi$  по данным наблюдений на малых водосборах (с площадью менее 100 км<sup>2</sup>) показала, что при вычислении мгновенных максимальных расходов выражение  $\varphi = F^{-0.144}$  и в этом случае дает удовлетворительные результаты.

Для самых малых водосборов коэффициент  $\varphi$  должен приближаться к единице и для выполнения этого требования следует площадь  $F$  увеличить на единицу, чтобы при  $F \rightarrow 0$   $\varphi = (F+1)^{-0.144} \rightarrow 1,0$ .

Результаты измерения и вычисления весеннего максимального стока с водосборов площадью менее 100 км<sup>2</sup> показывают, что здесь зависимость величины среднесуточного максимального стока от площади водосбора незначительна. Такое явление может быть объяснено тем, что если время добегаания талых вод по главному водотоку меньше суток (при



$F < 100 \text{ км}^2$ ), то площадь водосбора не оказывает значительного влияния на характер среднесуточного максимального стока.

Теоретические выводы Г. А. Алексеева <sup>(3)</sup> также подтверждают, что в малых водосборах колебание величин среднесуточных весенних максимумов стока, в зависимости от площади водосбора, происходит в узких пределах. Коэффициент неодновременности стока  $\varphi$ , вычисленный по графику зависимости весеннего максимального стока от площади водосбора, представленный Г. А. Алексеевым <sup>(3)</sup>, для водосборов менее  $100 \text{ км}^2$  колеблется в пределах от  $F^{0.00}$  до  $F^{-0.07}$  (при величине слоя стока  $h = 100 \text{ мм}$ ).

Таким образом, площадь водосбора почти не оказывает влияния на вычисление среднесуточных максимумов в водосборах с площадью менее  $100 \text{ км}^2$  и коэффициент  $\varphi$  в формуле максимального стока можно считать в этом случае постоянным, т. е.  $100^{-0.144} = 0,52$ .

В последующих подсчетах использованы только среднесуточные размеры максимального стока, как наиболее достоверные величины. Определение мгновенных максимумов требует установки на гидрометрических постах самопишущих установок. Последние имеются только на нескольких постах.

Для определения модульного коэффициента суточного стока с обеспеченностью в 95% ( $k_{95\%}$ ) в водосборах, где отсутствуют гидрометрические наблюдения, использована картограмма среднего минимального стока <sup>(2)</sup>.

Зная уточненные значения коэффициентов  $a$ ,  $\alpha$ ,  $\varphi$ ,  $\rho$  в формуле максимального стока, размеры среднего многолетнего стока и суточного стока с обеспеченностью в 95%, можно определить коэффициент  $\delta$  или  $r$  по данным измерений максимальных расходов 1951 года.

Корреляция вычисленных коэффициентов  $r$  с процентами заболоченности  $A$  и залесенности  $B$  водосбора дала следующее уравнение:

$$r = 0,0045 A + 0,0051 B - 0,285 \quad (2)$$

с общим коэффициентом корреляции  $R = 0,84$ .

Кроме заболоченности и лесистости, на режим максимального стока влияет густота речной сети или канализованность водосбора, не учитываемая формулой (1а). Подставляя в формулу (1а) значение, получаемое по формуле (2), и принимая обеспеченность  $P$  равной 10%, получим значения максимального стока 1951 года без учета влияния устройства осушительных систем и других неучтенных факторов.

Результаты вычислений показывают, что расхождения между вычислениями и фактически наблюдавшимися значениями максимальных расходов довольно значительны. Размер расхождений колеблется от +38% до -35%. Исключения из общей картины составляют водосборы Выханду, Авасте и Кейла, где наблюдавшиеся расходы были на 102,92 и 60 процентов меньше вычисленных.

В водосборе реки Выханду в створе Химмисте имели место заниженные максимальные расходы, обусловленные регулирующим влиянием озер. Здесь в период прохождения паводка в 1951 году образовались на протяжении 7 суток два слабо выраженных пика. Поэтому вычисленный максимум превышал наблюдавшийся на 102 процента.

В водосборе Кейла гидрометрический створ во время максимумов 1951 года был затоплен и данные наблюдений, повидимому, занижены.

Водосбор Авасте (в водосборе реки Казари) принадлежит к типу неосушенного болотного водосбора, часть которого затопляется во время половодья водой. Это растягивает паводок и снижает максимальные рас-



ходы. Максимальный сток 1951 года, вычисленный для водосбора Авасте, в створе Роотси на 92% больше наблюдавшегося.

Неосушенными заболоченными водосборами являются также водосборы магистрального канала Вельтса (в водосборе реки Казари), ручья Сурьюпера-оя (в водосборе реки Рейю) и магистрального канала Мустоя (в водосборе озера Эндла) в створах Тулиярве и Колувере. Вычисленные максимальные расходы с обеспеченностью в 10% в этих водосборах выше наблюдавшихся на 34, 35, 20 и 14 процентов. По четырем последним неосушенным водосборам среднее отклонение вычисленных расходов от наблюдавшегося составляет:

$$\frac{-34-35-20-14}{4} = -26\%.$$

Данные измерения весеннего максимального стока 1951 года имеются и по заболоченным водосборам с законченной строительством сетью магистральных каналов при полном или частичном отсутствии сети собирателей и осушителей. К этим, так называемым канализованным водосборам, относятся водосборы ручья Аавоя (в водосборе реки Ягала), магистрального канала р. Лейвайыги в створе Паюба, магистрального канала Соотева (в водосборе реки Пирита) и ручья Луйсте-оя (в водосборе реки Казари). Густота магистральных каналов в первых трех водосборах составляет от 0,95 до 0,99 километра на квадратный километр водосбора. В водосборе ручья Луйсте-оя густота речной сети и магистральных каналов составляет 0,70 км/км<sup>2</sup>. Четвертичные отложения, подстилаемые силурийскими известняками, в последнем водосборе представлены ленточными глинами и водонепроницаемой глинистой основной мореной. Густота речной сети и водонепроницаемость грунта способствует ускорению стока талых вод и вычисленный максимум в водосборе Луйсте-оя на 38% меньше наблюдаемого.

В водосборах Аавоя, Лейвайыги и Соотева вычисленный максимальный сток с обеспеченностью в 10% соответственно на 9, 12 и 34% меньше максимумов 1951 года, наблюдавшихся в этих водосборах. Таким образом, в 1951 году максимальный сток с канализованных водосборов был больше вычисленного в среднем на

$$\frac{9+12+34+38}{4} = 23\%.$$

Выше было установлено, что максимальный сток с обеспеченностью в 10% с неканализованных заболоченных водосборов в среднем на 26% меньше, чем вычисленный по формуле (1а). Общее увеличение размера максимального стока с обеспеченностью в 10% для канализованных водосборов, по сравнению с заболоченными неканализованными водосборами, составляет, таким образом, в среднем  $26+23 = 49 \approx 50\%$ .

Выше рассматривалось влияние канализации водосборов на максимальный сток с обеспеченностью в 10%. Для выяснения влияния канализации на максимальный сток иной обеспеченности могут быть, в основном, использованы данные, собранные в отношении водосбора магистрального канала Лейвайыги в створе Паюба, являющегося единственным канализованным водосбором в ЭССР, имеющим многолетние наблюдения за стоком (с 1928 года).

Результаты вычислений коэффициента  $r$  в формуле (1а) максимального стока показывают, что при различной обеспеченности стока размер коэффициента является довольно устойчивым для одного и того же водосбора. Средняя квадратичная ошибка коэффициента  $r$  ( $\sigma_r$ ) колеблется в пределах с 0,01 по 0,04. Исключение составляет канализованный водосбор р. Лейвайыги, где  $\sigma_r = 0,09$ . В этом водосборе, при обеспеченности максимального стока в 50%  $r = +0,14$ , а при обеспеченности в 2% —  $r = -0,04$ .



Таким образом, формула (1а) дает удовлетворительные результаты при вычислении максимальных расходов без внесения поправок только в неканализованных водосборах, как это подтвердилось и при рассмотрении условий максимального стока 1951 года.

В таблице 3 сопоставлены величины максимального стока с различной обеспеченностью с водосбора р. Лейвайыги до и после прорытия магистральных каналов.

Гидрометрические наблюдения начаты в водосборе р. Лейвайыги после канализации. Максимальный сток до канализации вычислялся по формуле (1а). Выше было установлено, что максимальный сток с обеспеченностью 10% в неканализованных заболоченных водосборах в среднем на 26% меньше, чем вычисленный по формуле (1а). Принимая максимальный сток до осушения за 100%, при вычислении максимального стока до канализации водосбора (при густоте речной сети около 0,20 км/км<sup>2</sup>) в формулу (1а) следует внести поправочный коэффициент

$$\varepsilon = \frac{100}{126} = 0,79 \approx 0,8.$$

Было также замечено, что после канализации водосбора (при густоте сети магистральных каналов около 1,0 км/км<sup>2</sup>) максимальный сток с обеспеченностью в 10% может увеличиваться в среднем на 23% по сравнению со стоком, вычисленным по формуле (1а). Коэффициент  $\varepsilon$  в этом случае равен 1,23.

Как показывают данные таблицы 3, при обеспеченности от 2 до 5% максимальный сток в канализованном водосборе Лейвайыги увеличился по сравнению со стоком с обеспеченностью в 10% еще на 38—41%. Следовательно, при вычислении максимального стока с обеспеченностью от 2 до 5% следует результаты, полученные по формуле (1а), увеличить на  $23+40=63\%$  или взять формулу с коэффициентом  $\varepsilon$ , равным 1,62.

Таблица 3

**Весенний максимальный сток в водосборе Лейвайыги-Паюба до и после прорытия магистральных каналов**

Обеспеченность в %	Весенний максимальный сток			
	до канализации, вычисленный по формуле (1а) с поправочным коэффициентом $\varepsilon=0,80$		после канализации по данным наблюдений	
	в единицах от среднего годового стока	в %	в единицах от среднего годового стока	в %
2	21,1	100	36,6	173
5	17,3	100	29,4	170
10	14,8	100	19,5	132
20	10,4	100	8,8	85
30	8,3	100	7,8	94
40	7,3	100	7,2	99
50	6,5	100	6,2	95

Из приведенных данных можно заключить, что максимальный сток с обеспеченностью от 2 до 5%, после канализации водосбора, может увеличиться, по сравнению с максимумом, имевшим место до осушения, примерно в  $\frac{1.63}{0.80} \approx 2$  раза или на 100%.

Из таблицы 3 видно еще, что наблюдавшийся максимальный сток с обеспеченностью от 20 до 50% в канализованном водосборе Лейвайыги



оказывается равным или немного меньшим, чем сток, вычисленный по формуле (1а) и взятый с коэффициентом 0,80. Отсюда можно заключить, что максимальный сток с обеспеченностью в 20% и выше после канализации водосбора может остаться без значительного изменения.

Таким образом, в канализованном водосборе можно ожидать увеличения максимального стока с обеспеченностью менее 20%, а именно: при обеспеченности в 10% ожидается увеличение размеров максимумов в среднем на 50% и при обеспеченности от 5 до 2% весенний максимальный сток может увеличиться в среднем на 100% по сравнению со стоком, наблюдавшимся до канализации водосборов.

### Заключение

На основании изложенного о весеннем максимальном стоке можно сделать следующее заключение.

1. В водосборах ЭССР весенний максимальный сток можно вычислять по следующей формуле:

$$k_{\text{вес. max } P\%} = a \alpha \delta \varphi \varrho,$$

где  $k_{\text{вес. max } P\%}$  — весенний максимальный сток в единицах от среднего годового стока с обеспеченностью  $P\%$ ;

$a$  — климатический коэффициент, который в условиях ЭССР при  $P$  от 1 до 10% равен 100;

$\alpha$  — коэффициент весеннего максимального стока;

$$\alpha = 10^{-1,4k_{95\%}};$$

$k_{95\%}$  — модульный коэффициент среднего минимального стока (среднесуточного стока с обеспеченностью 95%);

$\delta$  — коэффициент влияния заболоченности и лесистости водосбора;

$$\delta = 10^{-1,4r}$$

$$r = 0,0045A + 0,0051B - 0,285;$$

$A$  — процент заболоченности водосбора;

$B$  — процент лесистости водосбора;

$\varphi$  — коэффициент неодновременности стока (редукции на площади водосбора);

$\varphi = (F+1)^{-0,144}$ ; при вычислении среднесуточных максимумов с малых водосборов ( $F \leq 100 \text{ км}^2$ )  $\varphi = 0,52$ ;

$F$  — площадь водосбора в  $\text{км}^2$ ;

$\varrho$  — коэффициент, учитывающий обеспеченность максимального стока;

$$\varrho = P^{-0,22};$$

$P$  — процент обеспеченности максимального стока с 1 по 10%;

$\varepsilon$  — коэффициент, учитывающий влияние канализации водосбора.

2. После канализации водосбора весенний максимальный сток может увеличиться в следующих размерах:

при $k_{\text{вес. max } 20-50\%}$	увеличение в среднем на 25%
„ $k_{\text{вес. max } 10\%}$	„ „ 50%
„ $k_{\text{вес. max } 2-5\%}$	„ „ 100%

3. При вычислении максимального стока с заболоченных неканализованных водосборов следует применять формулу  $k_{\text{вес. max } P\%}$  с поправочным коэффициентом  $\varepsilon$  равным 0,8.



4. При вычислении максимального стока с канализованных водосборов следует применять формулу  $k_{\text{вес. max } P\%}$  с поправочным коэффициентом  $\varepsilon$  в следующих размерах: при  $k_{\text{вес. max } 20-50\%}$   $\varepsilon = 1,0$ , при  $k_{\text{вес. max } 10\%}$   $\varepsilon = 1,23$  и при  $k_{\text{вес. max } 2-5\%}$   $\varepsilon = 1,63$ .

# ЛИТЕРАТУРА

1. Hommik, K., Über die Abflussverhältnisse bei Hochwasser. VI Baltische Hydrologische Konferenz. Berlin, 1938.
2. Hommik, K., Kuivendussüsteemide arvutuse hüdroloogilised alused. Eesti NSV TA Toimetised. Bioloogiline seeria, V köide, 1956, nr. 2.\*
3. Алексеев Г. А., Расчет вероятных максимальных расходов воды и объемов стока снеговых и дождевых паводков. Труды ГГИ, вып. 38 (92). Гидрометеониздат, Ленинград, 1953.

\* Samas artiklis on valemisse (3) sattunud eksitav viga. Peab olema:

$$k_{\text{kulv. } P+20\%} = k_{\text{kev. max } P\%} \left( \frac{t_c - z}{t_c} \right)^{3,7} + k_p$$

Эстонский научно-исследовательский институт земледелия и мелиорации

Поступила в редакцию  
25 IX 1956

## KEVADINE MAKSIMAALNE ÄRAVOOL

K. Hommik,  
tehniliste teaduste kandidaat

### Resümee

Autori poolt 1938. a. tuletatud maksimaalse äravoolu valemit <sup>(1)</sup> on uuemate hüdromeetriliste andmete põhjal täiendatud ja täpsustatud. Täiendavalt on uuritud soode, metsade ja vesikonna kuivendamise mõju kevadise maksimaalse äravoolu suurusle, on täpsustatud maksimaalse äravoolu arvutust väikestest vesikondadest ja parandatud äravoolu tõenäosust hindavat koefitsienti. Nimetatud täienduste kohaselt omab kevadise maksimaalse äravoolu valem järgmist kuju:

$$k_{\text{kev. max } P\%} = a\alpha\delta\varphi\varrho\varepsilon,$$

kus  $k_{\text{kev. max } P\%}$  — kevadine maksimaalne äravool aastakeskmise äravoolu ühikuis tõenäosusega  $P\%$ ;

$a$  — kliimaatiline koefitsient, mis Eesti NSV tingimustes tõenäosuse protsendi 1—10 puhul on 100;

$\alpha$  — kevadise maksimaalse äravoolu koefitsient;  $\alpha = 10^{-1,4k_{95\%}}$ , kus  $k_{95\%}$  on keskmise minimaalse äravoolu koefitsient;

$\delta$  — soode ja metsade mõju hindav koefitsient;  $\delta = 10^{-1,4r}$ , kus  $r = 0,0045A + 0,0051B - 0,285$ ;

$A$  — soode protsent vesikonnas;

$B$  — metsade protsent vesikonnas;

$\varphi$  — vesikonna suuruse mõju hindav koefitsient;  $\varphi = (F + 1)^{-0,144}$ ,  $F$  — vesikonna suurus  $\text{km}^2$ ; keskmise ööpäevase maksimaalse äravoolu arvutamisel väikestest vesikondadest ( $F \leq 100 \text{ km}^2$ ) võetakse  $\varphi = 0,52$ ;

$\varrho$  — maksimaalse äravoolu tõenäosust hindav koefitsient;  $\varrho = P^{-0,22}$ ;

$P$  — maksimaalse äravoolu tõenäosus 1—10 protsenti;

$\varepsilon$  — vesikonna kanaliseerimise mõju hindav koefitsient.

Kanaliseeritud vesikonna maksimaalse äravoolu arvutamisel tuleb koefitsient  $\varepsilon$  võtta järgmises suuruses:  $k_{\text{kev. max } 2-5\%}$  puhul  $\varepsilon = 1,63$ ,  $k_{\text{kev. max } 10\%}$  puhul  $\varepsilon = 1,23$ . Soostunud kanaliseerimata vesikonnas  $\varepsilon = 0,80$ .



## FRÜHJAHR-S-HOCHWASSERABFLUSS

K. Hommik

## Zusammenfassung

Die vom Verfasser im Jahre 1938 veröffentlichte Hochwasserabfluss-Gleichung <sup>(1)</sup> ist auf Grund der neuesten Wassermessungsangaben verbessert und vervollständigt worden. Sie wird in folgender Form gegeben:

$$k_{Fr. \max P\%} = a \alpha \delta \varphi \varrho \varepsilon,$$

wo  $k_{Fr. \max P\%}$  — Frühjahrs-Hochwasserabfluss in Jahresabflusseinheiten;

$a$  — klimatischer Koeffizient. In estländischen Verhältnissen, bei einer Hochwasser-Wahrscheinlichkeit von 1—10 v. H., ist  $a = 100$ ;

$\alpha$  — Abflusskoeffizient;  $\alpha = 10^{-1,4k_{95\%}}$ ;  $k_{95\%}$  — Koeffizient des mittleren Niederwasserabflusses;

$\delta$  — Koeffizient des Einflusses der Moore und Wälder;  $\delta = 10^{-1,4r}$ ;  $r = 0,0045A + 0,0015B - 0,285$ ;

$A$  — v. H. der Moore im Flussgebiete;

$B$  — v. H. der Wälder im Flussgebiete;

$\varphi$  — Koeffizient des Einflusses der Flussgebietsgrösse;  $\varphi = (F + 1)^{-0,144}$ ;

$F$  — Flussgebietsgrösse in km<sup>2</sup>; bei der Berechnung des mittleren Tageshochwasserabflusses von kleinen Flussgebieten ( $F \leq 100$  km<sup>2</sup>) ist  $\varphi = 0,52$  zu nehmen;

$\varrho$  — Koeffizient der Hochwasser-Wahrscheinlichkeit;  $\varrho = P^{-0,22}$ ;

$P$  — Wahrscheinlichkeit von 1 bis 10 v. H.;

$\varepsilon$  — Koeffizient des Einflusses der Kanalisierung des Flussgebietes.

Bei der Berechnung des Hochwassers von kanalisierten Flussgebieten mit der Wahrscheinlichkeit von 2 bis 5 v. H. ist  $\varepsilon = 1,63$ , mit der Wahrscheinlichkeit von 10 v. H. ist  $\varepsilon = 1,25$ . In nichtkanalisierten versumpften Flussgebieten ist  $\varepsilon = 0,80$  anzunehmen.

Institut für Ackerbau und Melioration  
der Estnischen SSR

Eingegangen  
am 25. Sept. 1956