

Таким образом, правильный учет особенностей гидрологических факторов будет в значительной степени содействовать надежному прогнозу переработки берегов.

Л и т е р а т у р а

1. Гриневич Л.А. Анализ условий использования гидроэнергоресурсов БССР с объединенной энергосистемой Северо-Запада. - Мат-лы респ. науч.-техн. совещ. по изуч., комплексн. использ. и охране водных ресурсов. - Минск, 1965. 2. К созданию кадастра водохранилищ (на примере водохранилищ БССР)/К.И.Шимко, Р.Ф.Лукошко, И.В.Минаев, А.А. Василевский. - Сб. НИИВП Минводхоза СССР: Вопросы водного строительства. - Минск, 1968. 3. Левкевич Е.М., Юхновец В.Н. Некоторые особенности ветрового волнения на водоемах с малыми разгонами волн. - В сб.: Водное хозяйство Белоруссии. - Минск, 1973, вып.3. 4. Широков В.М. Влияние гидрометеорологических факторов на формирование берегов и ложа Куйбышевского водохранилища. - Тр. 7-го Байкальск. науч. координацион. совещ. по изуч. берегов водохранилищ. М., 1961. 5. Качугин Е.Г. Геологическое изучение динамики берегов водохранилищ. - М., 1975. 6. Левкевич Е.М. Сроки и длительность ледовых явлений на водохранилищах БССР. - В сб.: Водное хозяйство и гидротехническое строительство. Минск, 1978, вып.8.

УДК 556.555.5 + 627.81

П.Д.Гатилло, канд. техн. наук, доц.,
Л.А.Коблова, студ., Л.И.Никитина, студ. (БПИ)

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ВОДОЕМОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ВОДЫ НА ЛЬДООБРАЗОВАНИЕ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ БЕЛОРУССИИ

При расчетах регулирования стока необходимо определять потери воды из водохранилищ, включая потери на льдообразование. Однако в известных источниках приводятся лишь общие сведения по этому вопросу [1, 2, 3].

Ледяной покров в пределах зеркала не снижает располагаемых ресурсов воды даже временно, поскольку своим объемом он вытесняет воду из нижних слоев. Потери на льдообразование происходят в условиях ледостава при сработке водохранилища, когда часть ледяного покрова оседает на берегах.

Размер потерь соответствует объему воды, содержащемуся в осевшем льде. Потери за зимний период (в тыс. м³) могут быть определены по формуле

$$W_{\text{л}} = \gamma \alpha h_{\text{л.м}} (\Omega_{\text{н}} - \Omega_{\text{к}}), \quad (1)$$

где $\Omega_{\text{н}}$, $\Omega_{\text{к}}$ - площадь зеркала в начале и конце сработки, км²; γ - отношение удельных весов льда и воды, равное 0,9; α - коэффициент нарастания толщины ледяного покрова; $h_{\text{л.м}}$ - максимальная толщина льда к концу сработки, мм.

При этом в одних источниках предлагается принимать $\alpha = 0,65$, а $h_{\text{л.м}}$ определять теми или иными способами (например, на 15^{л.м}-20% больше среднесезонной максимальной толщины льда на реках или же по зависимостям от суммы отрицательных температур воздуха [1]), в других же - толщину льда средней за период сработки (при отсутствии данных считать ее равной $0,67 h_{\text{л.м}}$ [3]).

Часто необходимо определять потери для расчетного года путем их последовательного установления для каждого расчетного отрезка (обычно месяца) зимней сработки. При этом приходится принимать: $\gamma = 0,9$; $\alpha = 1$; $h_{\text{л.ср}}$ - средняя для каждого отрезка толщина льда, а $\Omega_{\text{н}}$, $\Omega_{\text{к}}$ - площади зеркала в начале и конце каждого отрезка.

В [2, 4, 5] указывается на влияние снега. В расчет должен вводиться слой воды в осадках за вычетом испарения с поверхности снега [4]. В [5] показано, что первоначальный вид формулы, рекомендованной в [4], приводит к весьма значительным погрешностям при определении потерь в целом для зимнего периода сработки. Речь идет по существу о формуле (1), в которую вместо $\alpha h_{\text{л.м}}$ подставляется средняя за период сработки толщин льдоснегового покрова $h_{\text{л.ср}}$. Резкое снижение погрешности отмечено при определении $h_{\text{л.ср}}$ не в виде полусуммы начального и конечного за зимний период значений толщины льдоснегового покрова, а в виде среднеарифметического значения среднемесячных толщин за тот же период.

Следует констатировать, что в настоящее время основную сложность при установлении потерь воды на льдообразование представляет определение исходных данных. Гидрометеослужба ведет наблюдения за толщиной льда по пятидневкам на многих водоемах. Однако опубликованные обобщения касаются лишь средних наименьших и наибольших толщин льда за многолетие, начала и продолжительности периода ледовых явлений, продолжительности периода, свободного от льда. Материалы наблюдений без особой обработки могут быть использованы при рас-

данных по многолетним календарным рядам исходных данных. Однако отсутствуют характеристики, необходимые для проведения расчетов в годы различной обеспеченности. В работе [6] содержится лишь график зависимости толщины льда от средней глубины озера. Поскольку пояснений нет, надо полагать, что он рекомендуется для всей территории БССР. Неясна также обеспеченность этих толщин.

Известен ряд формул определения толщины льда по сумме отрицательных температур воздуха. Однако для использования этих формул в указанных целях необходимо было бы произвести предварительную обработку материалов наблюдений за температурой воздуха. К сожалению, опыт такой работы отсутствует.

В результате недостатка данных имеют место значительные погрешности в расчетах.

Для изучения возможностей более надежного и нетрудоемкого определения потерь воды при льдообразовании нами поставлены следующие задачи:

- 1) установить параметры максимальной толщины льда в водоемах;
- 2) выявить характер и тесноту корреляционных связей между минимальным стоком рек и толщиной льда в водоемах;
- 3) исследовать связи между зимними осадками и толщиной льда;
- 4) исследовать продолжительность и режимы нарастания толщины льда;
- 5) рассмотреть вопросы учета влияния зимних осадков и испарения со снежного покрова;
- 6) оценить размеры возможного изменения расчетных потерь в результате учета перечисленных факторов.

Распределения значений толщины льда целесообразно представлять в виде кривых обеспеченности. В работе для этого использованы материалы непрерывных послевоенных наблюдений, дающих возможность непосредственного определения средних значений $\bar{h}_{л.м}$ и коэффициентов вариации C_V для объектов с наиболее длинными рядами (до 32 членов) с приемлемой точностью. Поскольку во всех случаях значения $C_V < 0,5$ (табл. 1) и практически одинаковые значения оценок параметров распределений обеспечивает применение как метода наибольшего правдоподобия, так и метода моментов [7], нами использован метод моментов. Однако для непосредственного определения коэффициентов асимметрии C_S этим методом данная продолжительность наблюдений недостаточна. По-

Таблица 1. Параметры кривых обеспеченности максимальной толщины льда водоемов Белоруссии

Водоемы	Период наблюдений		Значения характеристик				Опорный объект для приводки к многолетним периодам	Вероятные значения коэффициента корреляции $r \pm \Gamma_r$
	годы	число членов ряда	за период наблюдений		за многолетний период			
			$h_{л.м.}, см$	C_V	$h_{л.м.}, см$	C_V		
Озера								
Нещердо	1945-77	32	51	0,17	51	0,17	опорный	
Освейс-	1946-77	32	56,3	0,21	56,3	0,21	опорный	
кое								
Дривяты	1945-77	32	58,9	0,25	58,9	0,25	опорный	
Сенно	1945-74	29	52,7	0,20	53,2	0,21	оз. Нарочь	0,74 \pm 0,06
Нарочь	1944-76	32	54,9	0,23	54,9	0,23	опорный	
Святязь	1970-76	6	32	0,43	39,3	0,38	оз. Нарочь	0,86 \pm 0,07
Споровс-	1945-64	19	43,8	0,23	44,4	0,22	оз. Нарочь	0,78 \pm 0,06
кое								
Выгонов-	1965-77	12	44,1	0,27	44,1	0,25	оз. Червоное	0,83 \pm 0,06
ское								
Червоное	1959-77	18	42,6	0,35	41,9	0,23	оз. Нарочь	0,84 \pm 0,05
Водохра-								
нилища								
Заславс-	1961-77	16	56,1	0,24	55,1	0,22	оз. Нарочь	0,94 \pm 0,02
кое (р.								
Свислочь)								
Осипович-	1961-77	16	48,3	0,25	47,6	0,23	оз. Нарочь	0,89 \pm 0,03
ское (р.								
Свислочь)								
Чигирин-	1962-77	16	44,8	0,26	43,8	0,27	в-ше Осипо-	0,56 \pm 0,12
ское (р.							вичское	
Друть)								

этому коэффициенты C_S установлены на основе сопоставления эмпирических и аналитических кривых обеспеченности. Для этого хронологические ряды наблюдений преобразовывались в убывающие, выраженные в модульных коэффициентах. Эмпирические значения обеспеченности устанавливались по формуле Н.Н.Чегодаева [7, 8]. Применение графоаналитического метода [8] приведет к слишком неодинаковым соотношениям C_S / C_V для разных объектов. Номограммы для определения этого соотношения методом наибольшего правдоподобия приведены лишь для случаев $C_V > 0,5$. Наложением эмпирических и аналитических кривых в целом выявлено их хорошее соответствие. В зоне $5 \leq P \leq 95\%$ аналитические кривые с разными соотношениями C_S / C_V отклоняются друг от друга незначительно. В данном случае приемлемо для всех объектов принимать это соотношение равным $C_S / C_V = 2$.

Параметры $\bar{h}_{Л,М}$, C_V для объектов с более короткими рядами наблюдений приводились к многолетнему периоду по

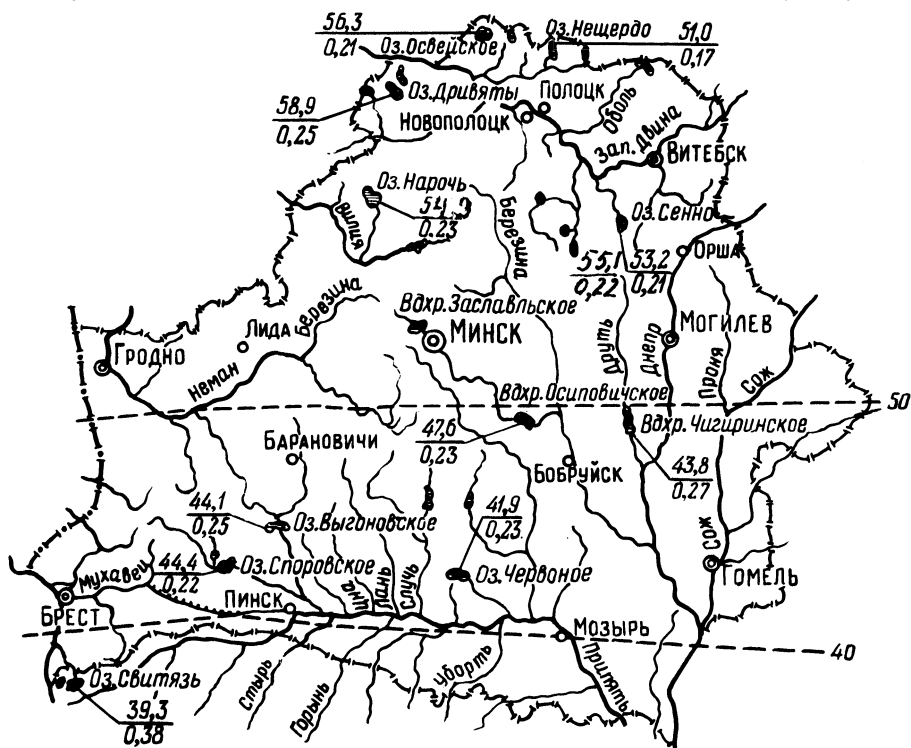


Рис. 1. Норма и коэффициенты изменчивости максимальной толщины льда в водоемах Белоруссии.

аналогии с опорными объектами с использованием уравнения регрессии [7, 8].

В работе использованы наблюдения на ряде озер северной и всех тех водоемах центральной и южной частей БССР, наблюдения над которыми достаточны для оценки корреляционных связей с опорными объектами. Привлечены данные по ближайшему к южным границам оз. Свитязь (северо-запад УССР).

Как видно из рис. 1, с севера на юг наблюдаются закономерности снижение $\bar{h}_{л.м}$ и некоторое увеличение их C_V . Могут быть выделены северная с $\bar{h}_{л.м} = 60 - 50$ см и $C_V \approx 0,22$, а также южная половина с $\bar{h}_{л.м} = 50 - 40$ см и $C_V \approx 0,25$. Можно ожидать, что на юге республики $\bar{h}_{л.м} = 40$ см, $C_V \approx 0,25$.

Небольшие различия в значениях параметров внутри районов можно объяснить влиянием местных условий. В связи с недостатком наблюдений на юге расположение изолиний (см. рис. 1) следует считать предварительным.

Корреляционная связь наблюдается между толщиной льда водоемов и зимним стоком рек (табл. 2).

Из приведенных 8 пар объектов лишь у 2 пар $|r| < |4E_r|$, что означает недоказанность и неудовлетворительность связей. Отметим, что и при анализе связей между толщиной льда различных водоемов Чигиринское водохранилище и оз. Нещердо выделялись своей аномальностью. Вот почему на этих объектах необходима проверка качества наблюдений.

Однако и на остальных объектах связи не могут быть приняты в качестве расчетных, так как $r < |0,8| [8]$. Это означает, что возможны самые различные сочетания зимнего стока рек и толщины льда в водохранилищах. Все же преимущественно наблюдается сочетание минимальных значений стока и максимальных значений толщины льда. Исходя из этого в качестве расчетного из данных в целом неблагоприятных сочетаний следует принимать такое, у которого толщина льда соответствует обеспеченности P^I , определяемой по выражению

$$P^I = 100 - P, \quad (2)$$

где P – расчетная обеспеченность стока, %.

Для определения расчетного количества осадков были проанализированы связи между максимальной толщиной льда на некоторых водоемах и суммой зимних осадков на ближайших пунктах наблюдений (табл. 3). Поскольку связь не-удовлетворительна и в тенденции обратная, расчетную обес-

печенность осадков P необходимо принимать по выражению, аналогичному (2) (P^0 - расчетная обеспеченность толщины льда).

Таблица 2. Характеристика корреляционных связей между максимальной толщиной льда водоемов и величиной зимнего стока рек

Объекты		Период параллельных наблюдений		Вероятное значение коэффициента корреляции $r + E_r$
водоем	река	годы	количество членов ряда	
Озера		1945-	32	$-0,26 \pm 0,10$
Нешедро	Свольна (с. Пользино)	-77		
Дривяты	Десна (г. Шарковщина)	1945- -77	32	$-0,58 \pm 0,08$
Сенно	Лучеса (с. Лускино-поль)	1945- -74	29	$-0,50 \pm 0,09$
Нарочь	Нарочь (с. Нарочь)	1944- -76	32	$-0,71 \pm 0,05$
Споровское	Ясельда (г. Береза)	1945 -64	19	$-0,56 \pm 0,09$
Червоное	Оресса (с. Андреевка)	1959- -77	17	$-0,68 \pm 0,09$
Водохранилища				
Заславское	Исlochь (с. Боровиковщина)	1960- -76	16	$-0,64 \pm 0,10$
Чигиринское	Друть (Чигиринская ГЭС)	1961- -77	16	$-0,02 \pm 0,17$

Таблица 3. Характеристика корреляционных связей между максимальной толщиной льда водоемов и суммой осадков за декабрь - март

Объекты		Период параллельных наблюдений		Вероятное значение коэффициента корреляции $r \pm E_r$
водоем	метеостанция или пост	годы	количество членов ряда	
Озера				
Нещердо	с.Горбачево	1951-77	26	-0,36±0,11
Дривяты	г.Браслав	1945-77	32	-0,11±0,12
Сенно	п. Сенно	1945-74	29	-0,12±0,12
Нарочь	д.Купа	1948-76	28	-0,13±0,12
Червоное	д.Пуховичи	1960-77	17	-0,11±0,16
Водохранилища				
Заславское	п.Гонолес	1961-77	16	-0,15±0,16
Осиповичское	Осиповичская ГЭС	1960-77	17	-0,07±0,16

Обобщение наблюдений за атмосферными осадками в Белоруссии произведено для периода до 1960 г. [9]. При необходимости использования накопленных наблюдений они могут подвергнуться аналогичной обработке.

Влияние испарения со снежного покрова водоемов может быть оценено на основе известных материалов [6], где приведены: карта изолиний нормы суммарного испарения за год; значения коэффициентов C_V и C_S ; внутригодовое распределение суммарного испарения. В связи с малой изученностью испарения с поверхности снега, а также с ведением расчета для морозных зим достаточным будет его учет по средним величинам.

Размеры компенсаций потерь воды на льдообразование за счет выпадающих осадков (за вычетом испарения с поверхности снега) могут быть определены для рассматриваемых отрезков времени (месяцев) по зависимостям (в тыс. м³):

а) для зоны оседания льда

$$\Delta W_{л}^1 = 0,5(O - И) (\Omega_{н} - \Omega_{к}), \quad (3)$$

б) для зоны ледового покрова, оставшегося на плаву,

$$\Delta W_{\text{л}}^{\text{II}} = (O - И) \Omega_{\text{к}}, \quad (4)$$

где O , $И$, $\Omega_{\text{н}}$, $\Omega_{\text{к}}$ – соответственно величины осадков, мм; испарения с поверхности снега, мм; площади зеркала водохранилища, км² в начале и конце расчетных отрезков времени.

С учетом (1), (3) и (4) выражение для определения потерь воды на льдообразование за расчетные отрезки времени примет вид

$$\Delta W_{\text{л}} = 9h_{\text{л}} (\Omega_{\text{н}} - \Omega_{\text{к}}) - 0,5(O - И)(\Omega_{\text{н}} + \Omega_{\text{к}}), \quad (5)$$

где $h_{\text{л}}$ – средняя толщина льда в данном отрезке времени, см (остальные обозначения см. в (3) и (4)).

Ранее были приведены характеристики максимальной толщины льда $h_{\text{л,м}}$, наблюдаемой в конце зимы. Для определения расчетных значений толщины льда $h_{\text{л}}$ за отдельные отрезки зимнего периода необходимо выявить характерные режимы ее нарастания. Для этого целесообразно представить изменение $h_{\text{л}}$ в долях от наибольшей толщины для данной зимы. Оказывается, что после образования ледяного покрова его толщина, нарастая, обычно достигает 50% своей максимальной величины (или даже более того) в конце декабря – первой половине января. К концу января – половине февраля – 80 – 90%, а к концу февраля – началу марта приближается к 100%. В конце марта – начале апреля наступает момент перехода к снижению толщины льда и полной его ликвидации (в течение одной – трех, реже – большего числа пятидневок).

Практическое значение представляет период устойчивого ледостава $t_{\text{л}}$ – от его начала до момента устойчивого перехода к разрушению ледяного покрова. Указанный момент совпадает с поступлением в водоемы талых вод и подъемом уровней. Большие различия наблюдаются в продолжительности периода $t_{\text{л}}$ из года в год. В целом отмечается снижение $t_{\text{л}}$ в направлении с севера на юг. Для разных объектов и в разные годы он составляет от 5 до 31 пятидневок. При прочих равных условиях потери воды на льдообразование будут тем большими, чем раньше и интенсивнее формируется лед и чем продолжительнее период ледостава.

Для количественного анализа режима нарастания толщины льда целесообразен показатель, аналогичный применявшему-

ся для энергетической оценки продольных профилей и других характеристик рек [10]. В этом случае в качестве такого показателя можно принять отношение площади Ω_{ACD} , ограниченной реальным графиком нарастания толщины льда и осями координат (заштрихованная площадь), к предельно возможной площади Ω_{ABCD} (рис.2), равной произведению наблюдавшейся в данном году максимальной толщины льда $h_{лм}$ на продолжительность периода $t_{л}$:

$$\alpha = \frac{\Omega_{ACD}}{\Omega_{ABCD}} \quad (6)$$

Значения показателя α определялись по данным режима нарастания толщины льда (единица времени - пятидневка). Для разных объектов в разные годы они составляют 0,919-0,438.

Связи между характеристиками $h_{л,м}$, $t_{л}$ и α отсутствуют. Можно усмотреть лишь тенденции общего увеличения $h_{л,м}$ с повышением $t_{л}$, роста α с увеличением $h_{л,м}$, а также снижения α с ростом $t_{л}$. Поэтому в качестве расчетных необходимо принимать невыгодные значения. Такowymi являются графики нарастания толщины льда с одним из наибольших значений каждой из следующих величин: $t_{л}$, $h_{л,м}$ и α . Для удобства пользования расчетные графики целесообразно подкорректировать, с тем чтобы α были характерны для определенных районов, начало и конец устойчивого ледостава совпадали с началом и концом соответствующих месяцев, толщина льда монотонно увеличивалась бы, в качестве расчетных отрезков времени служили бы месяцы, для принятых значений α были бы установлены по месяцам ступенчато нарастающие толщины льда (в процентах от $h_{л,м}$). Это позволит пользоваться ими для расчетного года в целом и по месячным отрезкам.

Предлагаемые расчетные значения $t_{л}$, α и толщин льда в отдельные месяцы приведены в табл. 4. Значения $h_{л,м}$ должны определяться в соответствии с изложенным ранее.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании водохранилищ для дифференцированного по обеспеченности и территории нетрудоемкого определения расчетных значений ледяного покрова, а также для учета влияния зимних осадков и испарения с поверхности снега на величину расчетных потерь воды на льдообразование. Это позволит снизить их значение на 30 - 40%, повысив соответственно полезную отдачу водохранилища.

Таблица 4. Рекомендуемые параметры расчетного нарастания толщины льда водоемов Белоруссии

Районы Белоруссии	Значения параметров			
	продолжительность периода устойчивого ледостава		режимы нарастания толщины льда в период устойчивого ледостава	
	пятидневков	месяцев	α	толщина льда в отд. месяцы, в % от $h_{л,м}$
Северная ок- раина (севернее Дриссы)	30	5	0,70	1* - 25
				2 - 55
				3 - 75
				4 - 95
				5 - 100
Основная часть	24	4	0,775	1 - 50
				2 - 70
				3 - 90
				4 - 100
Южная окраина (южнее Припяти)	18	3	0,85	1 - 65
				2 - 90
				3 - 100

* Порядковые номера месяцев устойчивого ледостава.

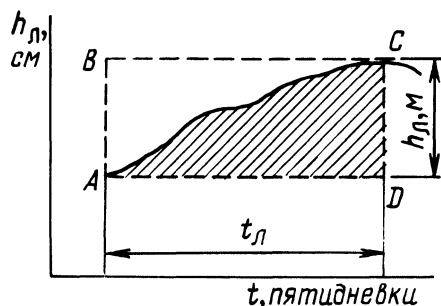


Рис. 2. Схема определения показателя режима нарастания толщины льда

Л и т е р а т у р а

1. Грацианский М.Н., Александровский Ю.В. Гидрология и гидротехнические сооружения. — М., 1961.
2. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Водохозяйственные расчеты. — Л., 1952.
3. Плешков Я.Ф. Регулирование речного стока. — Л., 1972.

Изд. 2-ое. 4. Андреев В.Г., Руденко С.И. Об учете влияния ледяного и снегового покрова на водный баланс естественных и искусственных водоемов. - Метеорология и гидрология, 1939, №1. 5. Браславский А.П. Потери воды из-за оседания снежоледяного покрова на берегах водохранилища при понижении его уровня. - Тр. координац. совещ. по гидротехнике, "Ледотермический режим свободных рек и подпертых бьефов и его регулирование." - Л., 1968, вып. 42. 6. Ресурсы поверхностных рек СССР. Белоруссия и Верхнее Приднепровье. - Л., 1966, т. 5, ч. I и II. 7. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. - Л., 1974. 8. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л., 1973. 9. Шебеко В.Ф. Внутригодовое распределение и обеспеченность осадков на территории Белорусской ССР. - Минск, 1962. 10. Григорьев С.В. Потенциальные энергоресурсы малых рек СССР. - Л., 1946.

УДК 556.166

В.А.Хавич, ст. науч. сотр.,
Н.А.Ногина, мл. науч. сотр. (ЦНИИКИВР)

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМУМОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В БАССЕЙНАХ РЕК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОТ НАВОДНЕНИЙ

Проектирование систем защиты территорий от речных наводнений вызывает необходимость учета влияния мероприятий, связанных с ним, на изменение расчетных характеристик максимального стока в речном бассейне. С этой целью выполняются расчеты трансформации гидрографов максимального стока в естественных и проектных условиях. Для их выполнения необходимо располагать системой гидрографов, задаваемых во входных створах основной реки и ее притоков. При этом изменение расчетных характеристик возможно оценить двумя путями:

1) расчета трансформации в проектных условиях реальных паводков, наблюдавшихся в прошлом, с последующим определением расчетных характеристик;

2) построения во входных створах расчетных гидрографов и последующих расчетов их трансформации в проектных условиях.