

УДК 556.166"321"

О ВОЗМОЖНОСТИ УЧЕТА АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ОЦЕНКАХ ДОЛГОСРОЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

В.В. Коваленко, Е.В. Гайдукова, В.А. Хаустов, Н.В. Судакова

Аннотация

В статье рассмотрены методики оценки проектных расходов максимального стока весеннего половодья, основанные на фактических рядах наблюдений за стоком и учитывающие сценарные климатические нормы осадков. Разработан способ, дополняющий известные методики элементами, которые позволяют повысить степень статистической устойчивости получаемых оценок начальных моментов, необходимых для нахождения обеспеченных значений максимальных расходов стока весеннего половодья, и открывают возможность учитывать не только метеорологические сценарные характеристики климата, но и факторы подстилающей поверхности, зависящие от социально-экономических сценариев развития территорий, на которых расположены речные бассейны.

Ключевые слова: максимальный сток весеннего половодья, неустойчивость моментов, коэффициент стока талых вод, стохастическая модель.

Введение

Существующие в настоящее время нормативные документы и учебная литература по гидрологическому обеспечению надежности строительных проектов (мостовые переходы, водосбросные и водопропускные отверстия гидротехнических сооружений, трубопроводы, ЛЭП и т. п.) ориентированы исключительно на фактические ряды наблюдений, а в случае отсутствия таковых – на реки-аналоги (по которым наблюдения имеются) или на интерполяцию изолиний гидрологических карт, построенных (опять же) по фактическим данным предшествующих наблюдений [1–3]. Найденные на их основе обеспеченные значения расходов воды используются в качестве проектных. Тем самым по умолчанию принимается, что за период эксплуатации проектируемого сооружения режим стока в статистическом смысле не изменится. Это предположение противоречит общепринятому в настоящее время взгляду на антропогенное изменение климата, а также тому обстоятельству, что за период эксплуатации сооружения может измениться не только климат, но и характер антропогенной деятельности на водосборе, то есть факторы подстилающей поверхности речных бассейнов (залесенность, заболоченность, степень урбанизации и т. д.). Для ликвидации этого противоречия надо либо показать на фактических гидрологических рядах наблюдений за многолетним стоком, что тренды начальных моментов вероятностных распределений статистически незначимы (и доказать, что останутся таковыми на весь период предполагаемой эксплуатации сооружений),

либо предложить способ нахождения проектных расходов воды с учетом возможных климатических и социально-экономических сценариев. В настоящей статье освещается вторая альтернатива для максимального стока весеннего половодья.

Недостатки аналогов и прототипа

Целью статьи является разработка способа оценки долгосрочных изменений обеспеченных значений расходов максимального стока весеннего половодья, учитывающего факторы антропогенного изменения климата и характеристик подстилающей поверхности водосборов.

В качестве аналогов способов достижения указанной цели (конкретнее: получение прогнозных значений обеспеченных проектных расходов) можно привести десяток методик, основанных как на непосредственном использовании данных наблюдений за максимальными расходами на гидрологической сети, так и на эмпирических формулах, полученных с помощью фактических рядов стока. В этих методиках [1–3] сформулированная цель достигается так называемым инерционным прогнозированием («завтра будет то же самое, что и сегодня»). Разумеется, в перечисленных источниках (и во всех других, связанных с данным вопросом) слово «прогноз» не используется, но с точки зрения рассматриваемой в статье проблемы это есть ничто иное, как инерционный прогноз.

Нормативный документ [3], например, предлагает воспользоваться редуцированной формулой:

$$Q_{P\%} = K_0 h_{P\%} \mu \delta \delta_1 \delta_2 A (A + A_1)^n, \quad (1)$$

где $Q_{P\%}$ – расчетный максимальный расход воды весеннего половодья обеспеченностью $P\%$; A – площадь водосбора; A_1 – дополнительная площадь, учитывающая снижение интенсивности редукиции модуля максимального стока; n – показатель редукиции; K_0 , μ , δ , δ_1 , δ_2 – эмпирические параметры, характеризующие различные аспекты формирования стока; $h_{P\%}$ – расчетный слой суммарного весеннего стока (без срезки грунтового питания) обеспеченностью $P\%$.

После определения всех параметров, входящих в правую часть формулы (1) по данным фактических наблюдений, находится значение расхода $Q_{P\%}$, на возможный пропуск которого и проектируется сооружение. Но если происходят изменения факторов формирования стока, то почему сам сток (в данном случае значение $Q_{P\%}$) должен оставаться неизменным? Этот недостаток (допущение о статистической стационарности процесса формирования стока) был частично устранен в работе [4], в которой предложена методика оценки долгосрочных изменений распределения плотности вероятности $p(h)$, на основе которого находятся значения $h_{P\%}$, входящие в формулу (1).

Эта методика исходит из предположения, что изменение слоя стока весеннего половодья представляет собой простой марковский процесс (это подтверждается большинством гидрологических исследований), описываемый стохастическим дифференциальным уравнением:

$$dh = [-(\bar{c} + \tilde{c})h + \bar{N} + \tilde{N}] dt, \quad (2)$$

где $\bar{c} = 1/\bar{k}\bar{\tau}$, $\bar{N} = \bar{X}/\bar{\tau}$ (здесь $\bar{k}_{\text{макс}} = \bar{h}/\bar{X}$ – коэффициент максимального стока весеннего половодья; $\bar{\tau}$ – время релаксации речного бассейна, равное примерно одному году; \bar{X} – норма годовых осадков); \tilde{c} и \tilde{N} – взаимно коррелированные белые шумы с интенсивностями $G_{\tilde{c}}$, $G_{\tilde{N}}$ и взаимной интенсивностью $G_{\tilde{c}\tilde{N}}$.

Уравнение (2) статистически эквивалентно уравнению Фоккера – Планка – Колмогорова (ФПК)

$$\frac{\partial p(h,t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial h}(A(h,t)p(h,t)) + 0.5\frac{\partial^2}{\partial h^2}(B(h,t)p(h,t)), \quad (3)$$

где A , B – коэффициенты сноса и диффузии, определяющие скорости изменения математических ожиданий приращений и их квадратов случайного процесса многолетнего слоя стока h .

Для устойчивых стационарных случайных процессов решение уравнения (3) дается семейством кривых Пирсона, которыми и оперирует практическая гидрология. Имея климатические (сценарные) значения нормы осадков и температуры воздуха, можно прогнозировать эволюцию $p(h)$, а значит, в формуле (1) использовать значения $h_{p\%}$, соответствующие не текущему (статистически стационарному до 80-х годов XX в.) режиму формирования стока весеннего половодья, а ожидаемому по тому или иному климатическому сценарию. Эта методика частично прошла апробацию в реальной проектной практике [5]. Однако она не устранила всех недостатков нормативного аналога, основанного на формуле (1), вместе с тем породила «свои проблемы» (это вполне закономерно, так как новое знание расширяет границу с «незнанием»).

Во-первых, введение в формулу (1) прогнозного значения $h_{p\%}$ не изменило ни структуру этой формулы, ни численных значений параметров K_0 , μ , δ , δ_1 , δ_2 , n , A , A_1 . Если в отношении площади A – это естественно (площадь водосбора не зависит от климата), то «замораживание» остальных параметров, позволяющих перейти от слоя стока за половодье $h_{p\%}$ к максимальному расходу $Q_{p\%}$, остается допущением (ниоткуда ведь не следует, например, что показатель редукиции n при существенном изменении климата остается неизменным).

Во-вторых, дополнение эмпирической алгебраической модели (1) теоретической динамической (дифференциальной) моделью (3) породило проблему устойчивости. Точнее даже не породила, а выявила: в некоторых регионах неустойчивость была всегда, просто она не осознавалась гидрологическим сообществом (речь идет не об устойчивости моментов из-за ограниченности ряда наблюдений, а о физической неустойчивости самого процесса формирования стока – стохастической неустойчивости распределения $p(h)$).

В-третьих, взяв на вооружение уравнение (3), мы «научились» вводить в методику сценарные осадки. Но не понятно, как вводить температуру воздуха или факторы подстилающей поверхности – в гидрологии известны их связи с коэффициентом годового стока $k_{\text{год}} = h_{\text{год}}/\bar{X}$, а не с искусственно введенным коэффициентом $k_{\text{макс}}$.

Ниже будет устранен третий недостаток прототипа и частично второй.

Предлагаемая методика

Физическая неустойчивость процесса формирования стока наглядно проявляется при аппроксимации модели (3) системой дифференциальных уравнений для начальных моментов [6, 7]. Оказывается, что для устойчивости моментов необходимо выполнение неравенства $\bar{c} > 0.5 l G_c$, где l – порядок момента. Для первого момента необходимо выполнение условия $\beta = G_c / \bar{c} < 2$, для второго – $\beta < 1$, для третьего – $\beta < 0.67$. Физический смысл критерия устойчивости β заключается в том, что для устойчивости моментов относительная величина мультипликативных шумов G_c / \bar{c} в уравнении (2) (точнее, в системе уравнений для моментов, получаемых в конечном итоге именно на основе линейного формирующего фильтра (2)) должна быть малой. Степень этой «малости» уменьшается с ростом порядка моментов (по старшим моментам формирование стока практически всегда неустойчиво). Была получена формула [7] для практического вычисления критерия устойчивости:

$$\beta = 2k \ln r + 2, \quad (4)$$

где k – коэффициент стока; r – коэффициент автокорреляции при годовой сдвиге.

С использованием формулы (4) были проведены вычисления для нескольких сотен гидростворов ЕТР и построена карта распределения зон неустойчивости статистических моментов (а значит, и расчетных гидрологических характеристик: нормы \bar{h} , коэффициентов вариации C_v и асимметрии C_s) вероятностных распределений слоя стока весеннего половодья (рис. 1, а).

Как видно из этого рисунка, обширные территории имеют тенденцию к неустойчивости, в том числе и по ключевым младшим моментам (а значит, по коэффициенту вариации и норме). Но так ли уж на самом деле неустойчивы моменты распределения $p(h)$? Что будет, если использовать «настоящий» коэффициент стока весеннего половодья $\alpha = \bar{h} / \bar{X}_{\text{макс}}$, где $\bar{X}_{\text{макс}}$ – «стокообразующие» (для слоя весеннего половодья) осадки?

Из суммарного водного баланса талых вод

$$h = h'_c + x - u - z - h_{\text{ак}}$$

(здесь h – слой весеннего стока; h'_c – запасы воды в снеге; x – жидкие осадки; u – часть инфильтровавшихся талых вод, пополнившая почвенную влагу; z – величина испарения со снега минус конденсация; $h_{\text{ак}}$ – слой талых вод, аккумуляровавшихся на поверхности бассейна; обозначения соответствуют таковым из книги [2], в которой приводится данное уравнение), следует выражение:

$$h = (h'_c + x) \left(1 - \frac{u + z + h_{\text{ак}}}{h'_c + x} \right) = (h'_c + x) \alpha, \quad (5)$$

где α – коэффициент стока талых вод.

Коэффициент α подробно изучался В.Д. Комаровым [8]. Им были построены карты распределения α по ЕТС бывшего СССР.

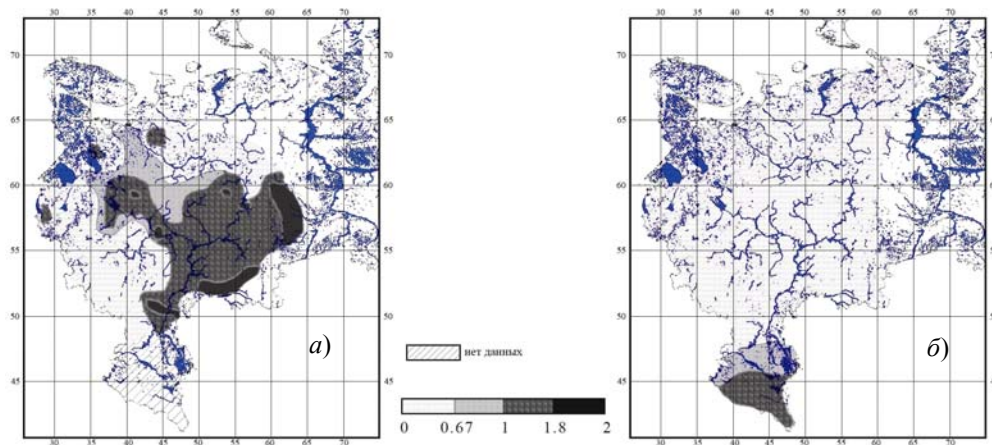


Рис. 1. Расположение зон неустойчивости слоя стока весеннего половодья на ЕТР (*а* – при использовании коэффициента $k_{\text{макс}}$; *б* – при использовании коэффициента α)

С учетом соотношения (5) стохастическая модель стока весеннего половодья будет:

$$dh = [-(\bar{c} + \tilde{c})h + \bar{N} + \tilde{N}]dt, \quad (6)$$

где $c = 1/\alpha\tau$; $N = \dot{X}_{\text{макс}}/\tau = (h'_c + x)/\tau$.

Для задания величины \bar{N} можно предложить два варианта: либо $\bar{N}_1 = k_{\text{макс}} \bar{X}_{\text{год}}/\alpha\tau$, (здесь $k_{\text{макс}} = \bar{h}/\bar{X}_{\text{год}}$; τ обычно принимают равным одному году), либо $\bar{N}_2 = k_{\text{макс}} \bar{Q}_{\text{год}}/k_{\text{год}}\alpha\tau$. Во втором случае открывается возможность учитывать влияние на $p(h)$ как гидрометеорологических факторов (\bar{X} , \bar{T} °C), так и упомянутых выше факторов подстилающей поверхности (через $k_{\text{год}}$). (Особенности этих двух вариантов касаются использования двумерных распределений $p(Q, E)$, где E – испарение, для нахождения $\bar{Q}_{\text{год}}$ в случае неустойчивого формирования стока и другие нюансы, которые с точки зрения сформулированной в статье цели не существенны, см. [9]). В любом из этих вариантов зоны устойчивого формирования слоя стока весеннего половодья увеличиваются (рис. 1, *б*), а во втором варианте имеем еще возможность учесть влияние антропогенных факторов на расчетные гидрологические характеристики. Причем какая бы неопределенность ни стояла за $k_{\text{год}}$ (из-за возможного недоучета некоторых антропогенных факторов или их сильной изменчивости, приводящей к большой интенсивности шума $G_{\bar{N}}$), процесс формирования распределения $p(h)$ будет проходить устойчиво (так как этот шум не носит мультипликативного характера).

В табл. 1 представлены результаты имитационных расчетов по стационарному варианту уравнения ФПК (3) с граничными условиями $p(h \rightarrow 0, h \rightarrow \infty) \rightarrow 0$ с целью оценить чувствительность $p(h)$ к гидрометеорологическим и антропогенным факторам, которые учитываются коэффициентом $k_{\text{год}}$. Использовались модальные значения, так как их можно визуальнo фиксировать на мониторе

Табл. 1

Чувствительность модального слоя стока весеннего половодья $h_{\text{мод}}$ к факторам формирования речного стока

№	Река – пункт	$\frac{F_{\text{ср}}, \text{км}^2}{\bar{X}_r, \text{мм}}$	$\frac{\alpha}{h_s, \text{мм}}$	$\frac{k_n}{C_{v,h}} = \frac{\bar{h} / \bar{X}_r}{C_{v,h}}$	$\frac{k_r}{-a_s, \text{мм}}$	$\frac{\bar{N}_{\text{ф}}, \text{мм}}{h_{\text{мод}}, \text{мм}}$	$\frac{h_{\text{мод}}, \text{мм}}{\delta_s, \%}$			
							$C_s = 2C_v$	$C_s = 4C_v$	$C_s = 2C_v$	$C_s = 4C_v$
1	Волошка – Тороповская	$\frac{7040}{750}$	$\frac{0.80}{160}$	$\frac{0.21}{0.30}$	$\frac{0.40}{29}$	$\frac{197}{131}$	$\frac{186}{41.9}$	$\frac{149}{46.1}$	$\frac{103}{21.4}$	$\frac{78}{23.5}$
2	Вымь – Веселяна	$\frac{19100}{800}$	$\frac{0.80}{180}$	$\frac{0.22}{0.30}$	$\frac{0.50}{32}$	$\frac{220}{148}$	$\frac{214}{44.6}$	$\frac{172}{48.3}$	$\frac{117}{20.9}$	$\frac{89}{23.3}$
3	Мезень – Малонисогорская	$\frac{56400}{700}$	$\frac{0.80}{200}$	$\frac{0.29}{0.25}$	$\frac{0.50}{25}$	$\frac{254}{175}$	$\frac{249}{42.3}$	$\frac{220}{46.7}$	$\frac{138}{21.1}$	$\frac{117}{22.0}$
4	Сухона – Тотьма	$\frac{34800}{800}$	$\frac{0.75}{160}$	$\frac{0.20}{0.35}$	$\frac{0.40}{39}$	$\frac{213}{121}$	$\frac{175}{44.6}$	$\frac{121}{47.6}$	$\frac{95}{21.5}$	$\frac{61}{25.6}$
5	Коль – Верхний Двор	$\frac{3160}{700}$	$\frac{0.60}{80}$	$\frac{0.11}{0.40}$	$\frac{0.25}{26}$	$\frac{128}{54}$	$\frac{77}{42.6}$	$\frac{41}{46.4}$	$\frac{41}{24.1}$	$\frac{21}{25.0}$
6	Ай – Метели	$\frac{14200}{600}$	$\frac{0.60}{140}$	$\frac{0.23}{0.40}$	$\frac{0.30}{45}$	$\frac{230}{95}$	$\frac{138}{45.3}$	$\frac{76}{52.0}$	$\frac{75}{21.1}$	$\frac{37}{26.0}$
7	Сылва – Шамары	$\frac{3130}{600}$	$\frac{0.65}{120}$	$\frac{0.20}{0.30}$	$\frac{0.30}{22}$	$\frac{185}{98}$	$\frac{138}{40.8}$	$\frac{111}{46.1}$	$\frac{76}{22.4}$	$\frac{58}{23.7}$
8	Кожим – Кожим	$\frac{4980}{800}$	$\frac{0.80}{200}$	$\frac{0.25}{0.20}$	$\frac{0.60}{8}$	$\frac{250}{192}$	$\frac{270}{40.6}$	$\frac{264}{43.5}$	$\frac{153}{20.3}$	$\frac{148}{19.8}$
9	Печора – Троицко-Печорск	$\frac{35600}{700}$	$\frac{0.75}{160}$	$\frac{0.23}{0.25}$	$\frac{0.50}{20}$	$\frac{215}{140}$	$\frac{197}{40.7}$	$\frac{175}{45.8}$	$\frac{110}{21.4}$	$\frac{95}{20.1}$
10	Судость – Погар	$\frac{5180}{700}$	$\frac{0.60}{80}$	$\frac{0.11}{0.50}$	$\frac{0.20}{40}$	$\frac{128}{40}$	$\frac{60}{50.0}$	–	$\frac{31}{22.5}$	–
						$\delta_{\text{ср}}, \%$	43.34	46.87	21.64	23.20

Примечания:

1. В таблице использованы те же обозначения, что и в тексте с небольшими изменениями: $F_6 = F_{\text{бвс}}$; $\bar{X}_r = \bar{X}_{\text{год}}$; $k_v = k_{\text{вас}}$; $\bar{N}_{\text{ф}} = k_{\text{ф}} \bar{X}_r / \alpha$ – фактическое внешнее воздействие; $\bar{h}_{\text{м(ф)}} = \bar{h} + a$ – фактическое модальное значение, где $a = -\mu_3 / \mu_2 = -C_3 \bar{h} C_5$ (в таблице значения a приведены при $C_5 = 2C_v$, μ_2 и μ_3 – центральные моменты; $h_{\text{м(пр)}}$ – «прогнозное» значение моды, полученное при увеличении \bar{X}_r на 40% или уменьшении k_r на 20% (в связи с «раздражающей» ролью k_r , влияние последнего можно воспринимать как уменьшение осадков); $\delta = (h_{\text{м(ф)}} - h_{\text{м(пр)}}) / h_{\text{м(ф)}}$.
2. При численном интегрировании уравнения Пирсона задание интенсивностей шумов $G_{\text{сН}}$, $G_{\text{с}}$ и $G_{\text{Н}}$ производилось следующим образом. Значение $G_{\text{сН}}$ принималось равным a и $2a$ (при $C_5 = 4C_v$). Интенсивность $G_{\text{с}}$ варьировалась в пределах $G_{\text{с}} < 2\bar{c}$ (обычно $G_{\text{с}} < \bar{c}$), чтобы модельное значение $h_{\text{м}}$ при $\bar{N}_{\text{ф}}$ совпадало с $h_{\text{м(ф)}}$. Величина $G_{\text{Н}}$ на моду слоя весеннего половодья существенного значения не оказывает.
3. Были вычислены значения $\bar{\delta} = (\delta_{\text{пр}(C_5=4C_v)} - \delta_{\text{пр}(C_5=2C_v)}) / \delta_{\text{пр}(C_5=2C_v)}$ (%) как для случая изменения \bar{X}_r ($\bar{\delta}_{\bar{X}_r}$), так и для k_r ($\bar{\delta}_{k_r}$). Оказалось, что $\bar{\delta}_{\bar{X}_r} = 8.1\%$, а $\bar{\delta}_{k_r} = 7.2\%$. Отсюда можно сделать вывод, что модальные значения слоя стока весеннего половодья тем более чувствительны к изменениям \bar{X}_r и k_r , чем более асимметричны распределения $p(h)$.
4. Хотя бассейны выбирались таким образом, чтобы охватить большую часть ЕТР (координаты замыкающих створов изменялись примерно на 20° по широте и долготе), однако преобладающего влияния каких-либо использованных в методике гидрологических характеристик на чувствительность $h_{\text{м}}$ не выявлено (за исключением C_5 , о чем упоминалось в п. 3 данных примечаний). По одному из створов (р. Аксай – Водянский) вообще не удалось провести вычисления в пределах разумных цифр (следует обратить внимание на довольно экзотические значения некоторых характеристик для этого створа: $C_{v,6} = 0.7$; $k_r = 0.05$). Такая же ситуация возникла для створа р. Судость – Погар при $C_5 = 4C_v$. Надо отметить, что приведенные в таблице числа носят приближенный (оценочный) характер, так как использовались гидрологические карты масштабов страниц учебника (ведь цель была чисто методической).

при численной реализации модели, не производя дополнительных трудоемких вычислений обеспеченных значений $h_{P\%}$.

Влияние метеорологических факторов \bar{X} и \bar{T} на максимальный сток можно учитывать как непосредственно через осадки $\bar{X}_{\text{год}}$, входящие в \bar{N} , так и через коэффициент стока $k_{\text{год}}$. Для этого можно использовать графики, характеризующие зависимость коэффициента стока от степени увлажненности $E_0 / \dot{X}_{\text{год}}$ или непосредственно от осадков и максимально возможной испаряемости E_0 (для этого существуют достаточно надежные номограммы М.И. Будыко). При этом последнюю можно связать с приземной температурой воздуха (сценарной климатической характеристикой), например, с помощью формулы Тюрка:

$$E_0 = 300 + 25T + 0.05T^3$$

(подробнее см. [4]).

Влияние урбанизации учитывалось следующим образом. За показатель урбанизации γ принималось отношение площади, занятой поселениями (с учетом укатанных дорог) f , к общей площади бассейна. Площадь же урбанизированной территории можно связать с числом жителей H [10]: $f = (H/1000)^n$, где $n = 0.714 - 0.893$.

Более точный вариант этой формулы может учитывать среднюю высоту построек в городе и долю городских построек в общей площади города. Составлены карты, показывающие степень урбанизации территории СНГ. Зная демографический прогноз, можно оценивать изменение f на перспективу. Последствия замены природных ландшафтов урбанизированными можно оценить по изменению средних многолетних коэффициентов годового стока в определенных широтных зонах [10]: $k_{\text{год}} = k_{0_{\text{год}}} + a\gamma$, где $k_{\text{год}}$ – коэффициент годового стока с учетом влияния всех урбанизированных территорий в широтной зоне; $k_{0_{\text{год}}}$ – коэффициент стока в естественных условиях; a – параметр, зависящий от широты местности, который увеличивается с юга на север.

Достаточно просто многие виды хозяйственной деятельности связываются с коэффициентом годового стока. Опубликованный справочный материал по залесенности, распаханности, заболоченности и озерности речных бассейнов позволяет построить эмпирические связи между коэффициентом стока и этими характеристиками, которые так или иначе отражают хозяйственную деятельность (вырубку леса, мелиорацию, земледелие и т. д.).

Выводы

В статье известные методики оценки проектных расходов максимального стока весеннего половодья, основанные на фактических рядах наблюдений за стоком и учитывающие сценарные климатические нормы осадков дополнены такими элементами, которые:

1) позволяют повысить степень статистической устойчивости получаемых оценок начальных моментов, на основе которых строятся кривые обеспеченности

максимальных расходов стока весеннего половодья и в конечном итоге найдутся обеспеченные их значения, закладываемые в строительные проекты;

2) открывают возможность учитывать не только метеорологические сценарные характеристики климата, но и факторы подстилающей поверхности, зависящие от социально-экономических сценариев развития территорий, на которых расположены речные бассейны.

Кроме того, поскольку сценарные факторы формирования стока (как метеорологические, так и подстилающей поверхности водосборов) в усовершенствованной стохастической модели учитываются не мультипликативно, а аддитивно, погрешность их задания (влияя на погрешность прогнозируемых оценок максимального стока) не оказывает влияния на устойчивость этих оценок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства высшего образования и науки РФ (проект № 2.1.1/3355).

Summary

V.V. Kovalenko, E.V. Gaidukova, V.A. Khaustov, N.V. Sudakova. A Possibility to Take into Account Anthropogenic Factors in Estimation of Long-Term Changes of Probability Characteristics of Spring Flood Maximum Flow.

This article deals with the techniques for estimating the design rates of the spring flood maximum flow based on observational data and taking into account normal annual rainfall. A new method supplementing the known techniques has been developed. It includes elements which allow us to improve statistical stability of the estimates of initial moments necessary to find the provided values of the spring flood maximum flow rates. They also open up the possibility to take into account not only meteorological characteristics of the climate, but also the factors of the underlying surface depending on the socio-economic scenarios of the development of the areas where the river basins are located.

Key words: spring flood maximum flow, instability of statistical moments, runoff coefficient of melt waters, stochastic model.

Литература

1. *Владимиров А.М.* Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 366 с.
2. *Соколовский Д.Л.* Речной сток (основы теории и методики расчетов). – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 540 с.
3. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 74 с.
4. *Коваленко В.В.* Моделирование гидрологических процессов. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 1993. – 256 с.
5. *Васильев А.А.* Учет неустойчивости характеристик максимального стока весеннего половодья при мостовом проектировании: Дис. ... канд. тех. наук. – СПб.: РГГМУ, 2005. – 142 с.
6. *Коваленко В.В.* Частично инфинитная гидрология. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2007. – 230 с.
7. *Коваленко В.В., Хаустов В.А.* Критерии устойчивого развития гидрологических процессов и картирование зон ожидаемых аномалий параметров годового стока рек СНГ при антропогенном изменении климата // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 12. – С. 96–102.

8. *Комаров В.Д.* Весенний сток равнинных рек Европейской части СССР, условия его формирования и методы прогнозов. – М.: Гидрометеоздат, 1959. – 296 с.
9. *Коваленко В.В.* Гидрологическое обеспечение надежности строительных проектов при изменении климата. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2009. – 101 с.
10. *Устюжанин Б.С.* Реакция речного стока на урбанизацию водосбора // Расчеты и прогнозы гидрологических характеристик: Междувед. сб. науч. тр. – Л.: ЛГМИ, 1989. – С. 73–81.

Поступила в редакцию
09.07.11

Коваленко Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой гидрофизики и гидропрогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург.

E-mail: kov_v_v@mail.ru

Гайдукова Екатерина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры гидрофизики и гидропрогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург.

E-mail: oderiut@mail.ru

Хаустов Виталий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры гидрофизики и гидропрогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург.

E-mail: vitaly.khaustov3@mail.ru

Судакова Наталья Валерьевна – инженер кафедры гидрофизики и гидропрогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета, г. Санкт-Петербург.